

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 621.397.63

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Г.Г. Власюк

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 171 «Електроніка»

(код і назва)

на тему: «Перспективи застосування технології LTE в межах концепції
«розумного міста»

Виконав: студент II курсу, групи ДВ-82мп

(шифр групи)

Боковий Павло Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник доцент, к.т.н. Попович П.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет _____ електроніки _____

Кафедра _____ звукотехніки та реєстрації інформації _____

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність _____ 171 «Електроніка» («Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей») _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Г.Г. Власюк**
(підпис) (ініціали, прізвище)

«____» _____ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

_____ **Боковому Павлу Олександровичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи _____ **«Перспективи застосування технології LTE в межах концепції «розумного міста» »**

керівник роботи _____ **Попович Павло Васильович, доцент,**
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «7» листопада 2019 р. № 3859-с

2 Строк подання студентом дисертації _____ **09 грудня 2019 р.**

3. Об'єкт дослідження технологія LTE, категорії технології LTE та їх застосування.

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) створення сенсорних мереж в рамках IoT за технологією LTE.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: дослідити концепцію та існуючі моделі «розумного міста» і особливості реалізації його складових, дослідити можливості, переваги та недоліки, які мають існуючі безпроводові технології для передавання великих обсягів інформації в межах «розумного міста», проаналізувати послуги та галузі, що охоплює «розумне місто», дослідити технології IoT.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 12-14 слайдів презентації: характеристика роботи, формулювання завдання роботи, загальні характеристики понять Інтернету речей та «розумне місто», безпроводові технології для створення мережі IoT, технологія LTE, її категорії та можливості для «розумного міста», розрахунок основних параметрів мережі та моделювання в програмному середовищі Atoll мережі LTE CatM1, висновки.

7. Орієнтовний перелік публікацій: Вимоги до QoS в мережах 5G / Боковий П.О. // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні технології кіно та аудіовізуальних систем». – К: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 23 вересня 2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Написання першого розділу	15.03.2019	
2	Написання другого розділу	19.06.2019	
3	Написання третього розділу	15.10.2019	
4	Написання четвертого розділу	02.11.2019	
	Написання п'ятого розділу	19.11.2019	
5	Підготовка матеріалів до друку та оформлення пояснювальної записки	01.12.2019	
6	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	04.12.2019	

Студент

(підпис)

П.О.Боковий

(ініціали, прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

П.В.Попович

(ініціали, прізвище)

УДК 621.397.63

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 125 с., 27 рис., 26 табл., 1 дод., 21 джерело
БЕЗПРОВОДОВА МЕРЕЖА, LTE, 4G, «РОЗУМНЕ МІСТО»,
ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, ПОКРИТТЯ, СЕНСОРНА МЕРЕЖА, ДАТЧИКИ,
ТЕХНОЛОГІЯ LTE CAT M1.

Актуальність роботи. Технології телекомунікаційних мереж вдосконалюються з кожним роком. Завдяки розвитку безпроводових мереж швидкісний інтернет став доступним скрізь, де є мобільний зв'язок. Використання інновацій у передаванні інформації зумовлює появу нових варіантів технологічних процесів у рамках міст та мегаполісів. Розвиток та впровадження мереж надали можливість для реалізації багатьох концептів, таких як «розумне місто» та ланки Інтернету речей. Наведені концепти є прямим шляхом до модернізації, вдосконалення існування міст та їх мешканців, спрощення ведення бізнесу та покращення ефективності виробництв.

Використання новітніх технологій та врахування світового існуючого досвіду для створення мереж Інтернету речей дає змогу проаналізувати та впровадити найоптимальніші варіанти для забезпечення потреб міст в Україні.

Мета і завдання дослідження. *Метою* роботи є дослідження технології LTE, аналіз та обґрунтування доцільності застосування даної технології в рамках концепції «розумного міста». Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі *завдання*:

- дослідити концепцію та існуючі моделі «розумного міста» і особливості реалізації його складових;
- проаналізувати послуги та галузі, що охоплює «розумне місто», дослідити технології IoT;

- дослідити можливості, переваги та недоліки, які мають існуючі безпроводові технології для передавання великих обсягів інформації в межах «розумного міста»;

- дослідити та запропонувати сценарії застосування технології LTE для забезпечення потреб «розумного міста»;

- розрахувати основні параметри мережі (кількість базових станцій та радіус стільника) та змодельовати в програмному середовищі Atoll радіопокриття мережі LTE з урахуванням концепції «розумного міста», перевірити відповідність технології LTE для забезпечення роботи транспортної складової «розумного міста».

Об’єкт дослідження – технологія LTE, категорії технології LTE та їх застосування.

Предмет дослідження – створення сенсорних мереж в рамках IoT за технологією LTE.

Методи дослідження – критичний аналіз технології LTE та інших безпроводових технологій IoT, порівняльний аналіз підходів до реалізації концепції «розумного міста» в різних країнах, порівняльний аналіз існуючих рішень для систем IoT, застосування положень теорії поширень радіохвиль, використання програмного забезпечення Atoll для моделювання мережі за обраною категорією LTE.

Наукова новизна одержаних результатів. Запропоновано використовувати категорію CatM1 технології LTE для створення сенсорних мереж IoT в рамках «розумного міста», що дає можливість реалізувати такі складові як транспортна, медична, адміністративна, що вимагають мінімальних затримок та порівняно високої швидкості передачі даних (до 1 Мбіт/с).

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновано сценарії застосування технології LTE CatM1 в межах концепту «розумного міста» у великих містах та мегаполісах в Україні на основі вже існуючих стільникових мереж LTE та встановленого обладнання на частоті 2600 МГц, що вже

використовується операторами. Розраховано параметри мережі та проведенню її моделювання в програмному середовищі Atoll для 10000 сенсорних пристроїв, що розміщені в межах території 4 км².

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень, що включені до дисертації, оприлюднені на III Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні технології кіно та аудіовізуальних систем» (2019).

Публікації. Результати досліджень, наведених в дисертації, оприлюднено в таких виданнях:

1. Боковий П.О. Вимоги до QoS в мережах 5G / Боковий П.О. // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні технології кіно та аудіовізуальних систем». – К: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. - С.

SUMMARY

The study examines the possibilities of using fourth generation technologies to ensure machine-to-machine interaction and support of the “Internet of Things” concept. There was explored LTE technology in the work; the author has made calculations and modeling of LTE CatM1 network. The Internet of Things is a necessary link for the creation and modernization of the “Smart City” concept. That is why the opportunities offered by IoT and the technologies, that may be involved in this concept, especially cellular wireless network technologies, must be explored.

The "smart city" is a result of structuring data of evolutionary trends. Owing to globalization and integration processes in the world, "smart cities" have been gaining popularity for last several years among the leading EU countries in all areas, both in everyday life and in the fields of industry, public security, public administration, medicine, ecology, transport and other important areas of life at national level.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	11
ВСТУП.....	12
1. АНАЛІЗ КОНЦЕПЦІЇ «РОЗУМНОГО МІСТА» ТА ТЕХНОЛОГІЙ IoT....	13
1.1 Поняття «розумне місто»	13
1.1.1 Послуги та можливості в концепції «розумне місто»	16
1.1.2 Приклади реалізації концепцій «розумного міста» у світовій практиці.....	20
1.1.3 Кібербезпека як ключовий елемент концепції «Розумного міста»...	29
1.2 Технології Інтернету речей IoT	33
1.2.1 Основні принципи та концепція Інтернету речей.....	33
1.2.2 Особливості трафіку в IoT.....	38
1.3 Радіочастотна ідентифікація RFID	39
1.4 Міжмашинна взаємодія (M2M)	41
1.5 Взаємодія IoT з перспективними інфокомунікаційними технологіями. Big Data. Хмарні обчислення (Cloud Computing).....	43
1.5.1 Розподілені обчислення.....	45
2. АПАРАТНІ ЗАСОБИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ «РОЗУМНОГО МІСТА».....	49
2.1 Датчики і пристрої збору даних.....	49
2.1.1 Термопари та температурні датчики.....	49
2.1.2 Резистивні датчики температури.....	51
2.1.3 Термістори.....	51
2.1.4 Фотоелектричні датчики.....	52
2.1.5 LiDAR і активні датчики.....	53
2.1.6 Датчики MEMS.....	54
2.1.7 Датчики тиску та мікрофони MEMS.....	55
2.1.8 «Інтелектуальні» точки IoT.....	57
2.1.9 Пристрої введення - виведення. Поєднання, «злиття» датчиків.....	58

2.2 Технологія LTE. Загальні поняття, архітектура базової мережі.	60
2.2.1 Категорії LTE для IoT.....	63
2.2.2 Інші безпроводові технології для IoT.....	66
3 СЦЕНАРІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ LTE ДЛЯ «РОЗУМНОГО МІСТА»	78
3.1. Перспективи розвитку мереж мобільного зв'язку в напрямку 4G/5G.....	78
3.2. Особливості міжмашинної взаємодії в мережах LTE.....	79
3.3 Географічні області 4G LTE, потоки даних і процедури передачі обслуговування для сфери «розумного транспорту» та логістики.....	81
3.4. Сценарії та можливості застосування eMTC (LTE-M, LTE Cat.M1).....	83
4 РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖІ LTE ДЛЯ «РОЗУМНОГО МІСТА».....	90
4.1 Розрахунок параметрів LTE.....	90
4.1.1 Початкові дані для розрахунку.....	90
4.1.2 Вибір обладнання базової приймально-передавальної станції та антени.....	91
4.1.3 Розрахунок основних параметрів мереж.....	91
4.2 Моделювання мережі LTE на основі розрахунків.....	93
4.2.1 Початкові дані для розрахунку мережі LTE.....	93
4.2.2 Вибір обладнання базової приймально-передавальної станції та антени.....	94
4.2.3 Результати розрахунку основних параметрів мережі.....	96
5 СТАРТАП-ПРОЕКТ.....	101
5.1 Основні відомості.....	101
5.2 Технологічний аудит ідеї стартап-проекту.....	102
5.3. Аналіз можливостей ринку для запуску проекту.....	103
5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	108
5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	110

ВИСНОВКИ.....	114
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	117
Додаток А.....	120

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

IKT	– Інформаційно-комунікаційні технології;
IoT	– Internet of Things (Інтернет речей);
MBMS	– Multimedia Broadcast Multicast Service (Мультимедійна ширококомовна послуга);
QoS	– Quality of Service (якість обслуговування);
NGN	– Next Generation Networks (мережі наступного покоління);
3G	– Third generation (Третє покоління);
4G	– Fourth Generation (четверте покоління);
AAA	– Authentication, Authorization, Accounting;
ATSC	– Advanced Television Systems Committee;
CDMA	– Code Division Multiple Access (множинний доступ з кодовим поділом);
DMB–T	– Digital Multimedia Broadcasting;
EDGE	– Enhanced Data rates for GSM Evolution (цифрова технологія безпроводової передачі даних для мобільного зв'язку);
FDD	– Feature driven development (розробка, керована функціональністю);
GSM	– Group Special Mobile (глобальний стандарт цифрової мобільної сотової);
IEEE	– Institute of Electrical and Electronics Engineers (Інститут інженерів електротехніки та електроніки);
ISDB–T	– Integrated Service Digital Broadcasting – Terrestrial
ITU	– International Telecommunication Union (Міжнародний союз електрозв'язку);
LTE	– Long–Term Evolution(довгий розвиток);

ВСТУП

Галузь інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) активно розвивається останніми десятиліттями, постійно змінюється і її понятійний апарат. В роботі «Метод управління інформаційними потоками та розподілу ресурсів гетерогенної мережі 4G/5G для надання сервісів M2M/ІoT» [12] розглядаються можливості використання технологій четвертого покоління для забезпечення міжмашинної взаємодії та підтримки концепції Інтернету речей. Оскільки Інтернет речей є необхідною ланкою для створення та модернізації концепту «розумне місто», необхідно дослідити можливості які надає ІoT та технології, що можуть бути ним задіяні, зокрема технології стільникових безпроводових мереж. Такі мережі є одними з найбільш поширених середовищ передавання інформації, в той же час наймасовішим їх користувачем є міста, особливо міста-мегаполіси. Великі міста мають еволюційну тенденцію до спрощення процесів машинної та людської взаємодії й, як наслідок, до покращення умов людського життя, підвищення продуктивності діяльності людини в різноманітних сферах та галузях.

Проект «розумне місто» є наслідком структурування даних еволюційних тенденцій. З огляду на процеси глобалізації та інтеграції у світі, «розумні міста» давно почали набирати популярності серед провідних країн ЄС у всіх сферах, як в побутовому житті, так і в сфері, що стосуються промисловості, громадської безпеки, державного управління, медицини, екології, транспорту та інших важливих сфер життя на національному рівні. в свою чергу дають пропорційне збільшення обсягів трафіку можна стверджувати, що використання новітніх швидкісних мереж є критичною необхідністю в мегаполісах. А їх дослідження є необхідним для розвитку телекомунікаційної сфери.

1 АНАЛІЗ КОНЦЕПЦІЇ «РОЗУМНОГО МІСТА» ТА ТЕХНОЛОГІЙ ІoT

1.1 Поняття «розумне місто»

Світ стрімко розвивається та розвиваються разом з ним і технології, завдяки колосальним інноваціям у ІТ сфері, спостерігаємо, як майбутнє настає вже сьогодні. Вперше, серйозно людство задумалося про концепції “Smart City”, ще у минулому столітті, але ідеологією цих міст, був і є, захист навколишнього світу від діяльності людини, водночас з тим покращення умов життя самої людини.

Поняття розумне місто – це інтеграція інформаційних та комунікаційних технологій для управління міськими ресурсами, об’єднуючи школи, транспорт, бібліотеки, лікарні, електростанції, водопостачання та інше. Активне використання перших концептів “розумного міста”, почалося на початку двохтисячних років, а вже 2007 рік став знаковим для світової спільноти: вперше в історії кількість населення у містах перевищила кількість населення поза їх межами. З того часу, кількість міських жителів невинно зростає. Згідно з прогнозами ООН, до 2050 року в містах буде проживати 68% населення планети. Для порівняння: зараз у містах проживає 55% населення – 4.2 млрд жителів. При цьому 90% зростання очікується за рахунок Африки і Азії. Тенденція щодо зменшення кількості сільського населення обумовлена як низкою причин стрімкої урбанізації, так і збільшенням населення світу в цілому. За прогнозами до 2030 року з’явиться 43 мегаполіси з населенням понад 10 млн жителів, більшість із цих міст будуть знаходитись у регіонах, що розвиваються [13].

У 2000 році в світі налічувалося 371 місто, кількість жителів яких дорівнювала або перевищувала 1 млн. У 2018 ця цифра становить вже 548, а очікувана кількість таких міст до 2030 року – 706. Хоча площа світових міст становить лише 0,4 % від загальної площі планети, їх жителі споживають до 75 % від світового споживання енергетичних ресурсів. Як наслідок, 80 % від

загального обсягу викидів парникових газів належить саме невеликій кількості світових міст. Іншими словами, життєво необхідним стають розвиток та запровадження всеохоплюючих планів щодо ефективного розподілу ресурсів (у т.ч. енергетичних), споживання енергії, захисту навколишнього середовища та, навіть, проблем перенаселення. Для цього було створено концепцію «розумного міста» (smart city).

«Розумне місто» – це місто, в якому традиційні системи працюють більш ефективно за рахунок використання інформаційно-комунікаційних технологій. Інформаційно-комунікаційні технології дозволяють використовувати менше енергетичних ресурсів, задовольняючи незмінний обсяг потреб, та зменшувати масштаби парникової емісії. Це означає запровадження «розумнішої» системи міського транспорту, оновленої системи водопостачання та утилізації відходів, а також створення ефективніших систем опалення та охолодження будинків. При цьому, всі системи між собою мають бути взаємопов'язані та працювати як єдиний злагоджений механізм.

«Розумні міста» в економічному і соціальному аспектах спрямовані в майбутнє. Вони ведуть постійний моніторинг найважливіших об'єктів інфраструктури - автомобільних доріг, мостів, тунелів, залізниць, метро, аеропортів, морських портів, систем зв'язку, водопостачання, енергопостачання, навіть найважливіших будівель - в цілях оптимального розподілу ресурсів і забезпечення безпеки. Вони постійно нарощують число надаваних населенню послуг, забезпечуючи стійке середовище, яка сприяє благополуччю і збереженню здоров'я городян. Основу цих послуг становить інфраструктура інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ).

У структурному аспекті «розумне місто» - це сукупність взаємодіючих систем. Така взаємодія величезного числа систем вимагає відкритості та стандартизації, які є основними принципами створення даних міст. Проект «розумного» міста, в якому відсутня відкритість і стандартизація, дуже скоро стане громіздким і дорогим. До складових технологій цієї концепції

відносяться високошвидкісні оптичні, сенсорні, провідні та безпроводні мережі, необхідні для реалізації таких переваг, які забезпечуються завдяки інтелектуальним транспортним системам, електромережам і організації домашніх мереж [14].

Головна відмінність «розумного» міста від міста традиційного полягає в характері взаємовідносин з городянами. У звичайному місті послуги на основі ІКТ не можуть так само гнучко реагувати на зміни економічних, культурних і соціальних умов, як послуги в «розумному» місті. Таким чином, «розумні міста» перш за все орієнтовані на людину, базуються на інфраструктурі ІКТ і безперервному міському розвитку при постійному врахуванні вимог екологічної та економічної стійкості. Головна ідея системи «Розумне місто» - створення інформаційного простору, що містить дані про роботу контрольованих об'єктів (лічильників теплової та електричної енергії, ліфтів, електротехнічного обладнання, технічних засобів безпеки і т.д.). Управління об'єктами ведеться на будь-якій відстані в реальному режимі часу, незалежно від місця розташування об'єктів та центрального керуючого пункту у місті. Аналіз зібраних даних дозволяє знайти слабкі місця в роботі організації, постачальників ресурсів, обладнання та персонала.

Проект “Smart city” орієнтований на поетапну модернізацію і реконструкцію наявних інженерних мереж з метою створення єдиного інформаційного простору, до якого будуть підключені служби різних міських об'єктів адміністративної, господарської, житлової, громадської та корпоративної діяльності з метою забезпечення ефективного використання наявних ресурсів та підвищення рівня обслуговування жителів. Сама концепція розумного міста має забезпечити розвиток потенціалу адміністративних центрів, поєднуючи в собі стратегічні підходи управління, новітні технології та спонукання жителів до формування нового, більш якісного рівня життя у місті. Таким чином, концепція «розумного міста» спрямована на надання реальних переваг для життя населення та функціонування бізнесу відповідно до принципів сталого розвитку.

1.1.1 Послуги та можливості в концепції «розумне місто».

Для того щоб зрозуміти переваги які надає концепція «розумного міста» в проекція на вже існуючі міста слід зазначити існуючі проблеми в останніх. Крім продуктивності та економічних вигід, міста створюють платформу для стійкого і збалансованого зростання. Вони грають найважливішу роль у забезпеченні більш високого рівня добробуту їхніх жителів, у тому числі шляхом доступу до набуття навичок і можливостей працевлаштування, соціальної та громадянської активності та завдяки екологічній стійкості. Це відображено в Цілях сталого розвитку ООН, зокрема 11-та ціль звучить як «забезпечення відкритості, безпеки, життєстійкості й екологічної стійкості міст». Поряд з високими темпами урбанізації, зростаючими очікуваннями резидентів і глобальною конкуренцією з боку мегаполісів за залучення нових жителів, міська влада стикається з великим набором проблем, рис.1.

Труднощі, з якими стикаються міста:



Рисунок 1.1 – Диференціація секторів по наявних проблемах у містах

Інфраструктура Smart City має на увазі цілий спектр найрізноманітніших рішень, які реалізуються за допомогою впровадження розумних технологій. Як правило, це альтернативні підходи до енергозабезпечення та водопостачання, можливість переробляти морську солону воду в прісну, впровадження сучасних систем із сортування та переробки сміття, введення в експлуатацію не моторизованих транспортних засобів, установка широкої мережі відеоспостереження та відеоаналітики, контроль чистоти повітря [11].

«Розумне місто» має багато складових, з яких до найбільш важливих можна віднести ланки наступні ланки:

- «розумна економіка» (smart economy) – електронний бізнес та електронна торгівля, зростання продуктивності, інноваційно-технологічне виробництво товарів та доставка послуг тощо;

- «розумна мобільність» (smart mobility) – транспортні та логістичні системи, засновані на інформаційно-комунікаційних технологіях, які б дозволяли використовувати один чи два види транспорту для переміщення у будь-яку точку міста;

- «розумні люди» (smart people) – розвиток електронних навичок, підвищення рівня освіченості, підвищення кваліфікації, розвиток креативності та стимуляція інноваційних проривів;

- «розумне життя» (smart living) - культура, дозвілля, освіта, здоров'я– запровадження способу життя, поведінки та моделі споживання за використанням інформаційно-комунікаційних технологій, покращення здоров'я та культурний розвиток;

- «розумне врядування» (smart governance) – інтерактивне місцеве правління, яке забезпечує ефективне всеохоплююче функціонування міста.

Шостою складовою концепції «розумне місто» є «розумне довкілля» (smart environment), яка має тісний зв'язок із енергетикою. Адже основний наголос робиться на запровадженні принципів енергоефективності та зменшення викидів парникових газів. Тому у межах «розумного навколишнього середовища» передбачається створення «розумної енергетики» за рахунок запровадження замкнутих енергетичних мереж, систем контролю та моніторингу рівня забруднення, реставрації та спорудження будинків, підвищення енергоефективності високим рівнем ефективності процесів когенерації [11]. Візуалізовано складові в рамках всієї концепції подано на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Принципи «розумного міста»

До вищезазначених принципів також відносяться наступні засади:

- мікрорайон як містобудівна одиниця;
- автономність міста;
- соціальна, ділова і культурна самодостатність;
- розробка за стандартами екологічного будівництва;
- використання новітніх інформаційних і комунікаційних технологій;
- впровадження інноваційних технологій енергетики, транспорту і будівництва.

Основою для єдиної системи «Розумне місто» є функціонально закінчені підсистеми:

- диспетчеризації і контролю ліфтів;
- автоматизованого комерційного контролю і обліку енергоресурсів і електроенергії;
- охоронно-пожежної сигналізації та відеоспостереження;
- контролю доступу в приміщення і до обладнання;
- управління обладнанням та інженерними спорудами;

- інші додаткові системи, такі як контроль затоплення підвалів, сигналізація загазованості пальними газами, екстреної голосового зв'язку.

Основні механізми оптимізації споживання ресурсів в «розумному» місті:

- розподіл навантаження на інфраструктурні мережі в часі, тобто зниження нерівномірності споживання в період піків і провалів (основна проблема всіх інфраструктур);

- розподіл в просторі, тобто створення мережових, а не лінійних систем постачання ресурсу дозволять маневрувати потоками і «обходити» аварійні або пікові ділянки;

- створення динамічно керованих джерел потужності: малоінерційні генератори, накопичувачі, демпфери та інше;

- створення розподіленої генерації різного масштабу;

- зниження втрат і ресурсоспоживання кінцевих користувачів

- («розумні» будинки, енергоефективне обладнання та інше).

Небувалий раніше рівень урбанізації принесе одночасно можливості і ризики для бізнесу, органів державного управління і суспільства в цілому. «Розумне» місто сьогодні – це стійке місто, що має функціонувати ефективно не тільки в звичайний час, але і в разі потрясінь різного характеру.

1.1.2 Приклади реалізації концепцій «розумного міста» у світовій практиці.

Розумними «можуть бути нові міста, які відразу будуються як «розумні» або міста, засновані для конкретних цілей (наприклад, промислові міста або технопарки), або, що частіше, звичайні міста, які крок за кроком стають «розумними». Багато найбільших міст світу почали здійснення проєктів створення «розумного» міста, в тому числі Сеул, Нью-Йорк, Токіо, Шанхай, Сінгапур, Амстердам, Каїр, Дубай, Коті та Малага. З огляду на сучасні темпи інновацій, цілком ймовірно, що вже в найближче десятиліття моделі

«розумних» міст стануть широко поширеним реальними і популярними стратегіями міського розвитку.

Існуючі проекти «розумного» міста розрізняються. В Амстердамі основна увага приділяється посиленню екологічної стійкості на основі більш раціональної організації робіт, застосування новітніх технологій для скорочення шкідливих викидів в атмосферу, більш ефективного використання енергії. В інших містах вживаються заходи для перетворення широкого діапазону міських функцій в «розумні», використовуючи повсюдно поширені «розумні» технології у всіх аспектах життя городян. Двома прикладами такої стратегії можуть служити проект «Місто електронної інтеграції» (u-місто) в Республіці Кореї (реалізація почалася в 2004 році) і проект Deutsche Telekom «Т-місто» в Німеччині (реалізація почалася в 2006 році). Проект «Розумний Сеул» здійснюється з метою перетворення системи управління містом в більш «розумну» і підвищення якості життя городян [16].

У різних містах ставляться різні пріоритетні цілі і завдання, але все «розумні» міста мають три найважливіші риси. Перша - наявність інфраструктури ІКТ. Захищена інфраструктура ІКТ наступних поколінь має першочергове значення для успішного надання нових послуг в «розумних» містах і для забезпечення готовності до майбутнього попиту на нові послуги. Друга - в місті повинна бути створена чітко вибудована і інтегрована система управління. Численні системи «розумного» міста будуть діяти злагоджено тільки на основі суворого дотримання єдиних стандартів. Третя - в «розумному» місті повинні бути «розумні» користувачі. ІКТ - це кошти, що забезпечують функціонування «розумного» міста, але вони не приносять користі за відсутності компетентних користувачів, які вміють взаємодіяти з «розумними» послугами. «Розумне місто» повинне не тільки розширювати доступ до «розумних» пристроїв для всіх категорій населення з різними рівнями доходів і різних вікових груп, але і забезпечувати доступ до навчання роботі з цими пристроями. Основу «розумного» міста становить відкрита для

всіх мережу користувачів «розумних» пристроїв, а городяни вимагають або створюють послуги, які представляють для них найбільшу цінність.

Для реалізації проектів «Розумне місто» ЄС розробив ряд програм у рамках стратегії XXI століття, зокрема «Програми цифрової Європи». Ними скористалися Саутгемптон, Амстердам, Барселона, Стокгольм.

На рис. 1.3 подані міста світу, які втілюють інноваційну концепцію та реалізують проекти класу «розумне місто». Найбільше таких міст на Американському (північна частина) та Європейському континентах, у Японії та Китаї. Барселона яскраво вирізняється серед міст, які ефективно реалізують технологічні проекти класу «розумне місто» титулом «Розумне місто світу - 2015», оцінюють його розвиток вище, ніж Нью-Йорка, Лондона, Ніцци і Сінгапуру [16] . Особливо високої оцінки заслужила «розумна система» управління дорожнім рухом, автостоянками та освітленням.



Рисунок 1.3 – Міста, що реалізують проекти «Розумне місто»

У місті Саутгемптон реалізована спільна міська платформа смарт - картки (електронна картка). Унікально зашифрований ідентифікатор надає можливість власникові такої картки отримувати адміністративні послуги без створення персональних облікових записів. На основі програмного

забезпечення Sentilo з відкритою платформою у Барселоні розроблені та реалізовані ряд проектів у рамках проекту «CityOS» а саме:

- інтелектуальний аналіз та розроблення нової мережі муніципального транспорту (автобуси), транспортних потоків і розв'язок міста;
- інтелектуальні світлофори у поєднанні з супутниковою навігацією GPS;
- сенсорна технологія зрошення у центральному парку Поблеоу, що базується на передаванні садівникам даних про кількість води, необхідної для рослин, у режимі реального часу.

Масове впровадження «розумних», інтелектуальних технологій в Амстердамі розпочалось з 2009 року, коли місцевим жителям, урядовцям та представником бізнесу вдалося реалізувати 79 проектів за напрямками:

- енергоефективне гнучке вуличне смарт - освітлення;
- система бездотових периферійних пристроїв, лічильників, сенсорів;
- система транспортних потоків;
- система маршрутів для автомобілістів;
- економія електроенергії на основі енергоощадних технологій (смарт-лічильники електроенергії) та моніторингу використання енергоносіїв;
- інтелектуальні парковки, тимчасове використання, оренда місць для паркування;
- система громадської безпеки.

У столиці Нідерландів максимально інтегровані складові компоненти «розумного міста» для раціонального та повноцінного спілкування жителів з органами міського управління. Функціонує платформа Amsterdam Smart City, яка заснована на відкритих даних і дає змогу забезпечити зв'язок між місцевими підприємствами, органами самоврядуванням і населенням. У її рамках створено програму, що спрощує пересування містом для людей з особливими потребами. При виникненні перешкоди, фахівці Call-центру вказують шлях її подолання. Застосунок City Alerts інформує пожежних про

перебування людей з руховими, психічними порушеннями або іншими особливими вадами здоров'я на об'єкті, де сталася пожежа.

Стокгольм вирізняється створенням універсальної волоконно-оптичної мережі, яка у 1994 році охопила територію міста і стала основою для запровадження інноваційних телекомунікаційних технологій. При побудові інфраструктури, що розгортається на основі оптоволокна, яке з'єднує прилади кінцевих споживачів (забезпечення зв'язком «остання миля»), була створена муніципальна телекомунікаційна компанія Stokar. Для формування ефективної телекомунікаційної інфраструктури, територією міста прокладено понад 5000 км оптоволоконних та 4000 км кабельних радіотехнічних мереж [17].

Іньчуань. Столиця одної з китайських провінцій, це місто унікальне тим, що у ньому не потрібні банківські карти, проїзні документи і готівка. Замість цього, мешканці Іньчуаня використовують власне обличчя. Для оплати послуг, у відведених містах є спеціальна система на основі нейромереж, котра розпізнає ваше обличчя і здійснює необхідну вам операцію. Все, що продається у торгових точках міста, можна придбати через мобільний застосунок, а після покупки забрати у магазині, котрий географічно найблищий до вас. Система збирання сміття обладнана спеціальним програмним забезпеченням, яке з допомогою спеціальних датчиків контролює наповненість баків для сміття і його вивезення. Іньчуань, знищив систему бюрократії, адже тепер на входах у державні структури, замість людей працюють світлові голограми. А більшість процедур, котрі вирішували чиновники, тепер можна виконати онлайн.

Фудзісава. Японське місто, котре відкрилося лише у минулому році. Де в усіх будинках знижено водоспоживання більше ніж 25% процентів, для енергоспоживання використовується виключно сонячна енергія, а на території міста користуватися можна лише велосипедами та електрокарами. Усі вулиці Фудзісава використовують сенсорні системи, для того щоб освітлення

відбувалося лише коли там є люди. Влада міста працює над впровадженням систем, захисту від надзвичайних ситуацій.

Мілтон-Кінс. Це місто знаходиться у Об'єднаному Королівстві Великобританія, та отримало статус “розумного міста”, після того, як у ньому запустили програму розумного транспорту (Catapult Transport Systems). Влада міста фінансує дослідження в галузі розробки безпілотних автомобілів. У місті запущено проект MK Smart. Він збирає усі дані міста в одну систему: показники із супутників, датчики в ґрунті і дані по енерго та водопостачанні, всю інформацію з відеоспостереження з функцією розпізнавання обличчя, соціальні та економічні показники. Таким чином розробники дають мешканцям шанс самостійно контролювати витрати енергії та води.

Сінгапур. Влада Сінгапура запустила програму Smart Nation, в рамках якого місто перетворюється в розумне. Місто оснастили сенсорами, котрі контролюють витрати води та енергії, вакуумні системи утилізації сміття та практично усе місто переходить на використання зеленої енергетики. У будинках встановлені спеціальні передавачі, які контролюють рух людей. Якщо система бачить, щось незвичне, вона відправляє сигнал у спеціальні служби та близьким людям цієї особи. А минулого року на вулицях Сінгапура запустили безпілотні автомобілі.

Масдар. Передмістя столиці ОАЕ, Абу-Дабі вже більше, а ніж десять років використовує програму для розумного міста. Головна ідея – це зменшення викидів вуглецю у атмосферу, тому все місто працює лише на альтернативній енергії, а не електрокарам заборонено підїжати до міста ближче, ніж на 5 км. У місті працює безпілотний електротранспорт Personal rapid transit. Усі вулиці міста будують з урахуванням положення сонця і напрямлення вітрів. Здача перших жилих будинків планується вже у наступному році. Наразі у місті проживає 300 науковців, які працюють над реалізацією проекту.

В Україні також є приклади смарт управління. Концепція Smart City вже кілька років реалізується в Києві, частково - на Донеччині. Різні її складові

втілюють з досвіду інших міст світу: «відкритий бюджет» - з Бостона, «Київ Сіті Хаб» та акселератор міських проєктів - з Амстердама, розвиток Wi-Fi - за прикладом Барселони та Сеула, електронний квиток - з Таллінна, безпека - як у Лондоні й Тель-Авіві. Kyiv Smart City об'єднує киян, бізнес, активістів та владу міста задля розвитку розумної міської інфраструктури [8]. Робота ініціативи базується на принципах відкритих даних, розумного використання цифрових послуг та прозорого управління. Щоб перетворити Київ на технологічно розвинений, соціально відповідальний та комфортний для життя мегаполіс депутати міської ради затвердили Концепцію Kyiv Smart City 2020. Концепція визначає основні шляхи для подальшого інфраструктурного, технологічного та соціального розвитку міста й визначає новий вектор трансформації міського простору. Вона покликана створити можливості для еволюції столиці, поєднуючи стратегічний підхід, технологічні досягнення та широке залучення жителів до процесу прийняття рішень. Концепцію розроблено за участі громадськості, експертів міської влади, представників українських технологічних компаній та міжнародного бізнесу, громадських організацій, наукової та академічної спільноти. Задля більш успішної реалізації проєктів міська ініціатива Kyiv Smart City створила хаб - простір, де проводяться події з урбаністичних тематик, де читають лекції в рамках Kyiv Smart City School, де учні школи опановують основи програмування (завдяки Академії Кодування). Мета даного хабу - комплексно надихати і консолідувати лідерів та агентів змін. Надавати їм максимум можливостей для реалізації власних проєктів, які, в результаті, сприятимуть розвитку Києва та країни в цілому, м. Львів теж не відстає від інших українських міст-лідерів у смарт розвитку, управління IT департаменту розвитку Львівської міської ради розвиває дану концепцію в декількох напрямках (дані за 2018 рік): 1) Е-освіта: (провели 18 заходів - INED, конференції е-освіти, Година коду, семінари з соцмереж, хакатон; започаткували 2 партнерських проєктів IT-школа Samsung та #Superurok з EdPro стали партнерами 30 організацій). 2) Е-послуги: створили «Портал мешканця» - сучасний та зручний інструмент взаємодії

мешканців міста Львова з місцевою владою, який дозволяє отримати послуги Львівської міської ради онлайн або частково онлайн, зменшити навантаження на ЦНАПи, забезпечити зручний та простий онлайн сервіс. А також адміністративні послуги онлайн: реєстрація місцяпроживання, реєстрація фізичної особи підприємця та оформлення інших послуг для мешканців міста й підприємців, оплата комунальних послуг, інтернету, штрафів за порушення ПДР та інше в один клік. 3) Е-інфраструктура: провели меморандум з lifecell: створення смарт-парковок, безпечне місто, освітні інновації, встановили 2 комплекти сучасних електронних сирен на адмінбудівлях Сихівської та Личаківської районних адміністрацій. 4) Популяризація «Smart city»: провели масштабний міжнародний форум Forum 451° E, головна мета якого - ознайомитися з досвідом реалізації Smart City в інших містах світу і розпочати розробку концепції розумного міста Львова. 5) Соціально-культурні проекти: «Inclusive it» - дистанційна освіта з ІТ для людей з інвалідністю та проект з комп'ютерної грамотності для людей старшого віку м. Львова з числа місцевого населення та вимушено переміщених осіб. Насправді, Україна не стала винятком у глобальному прагненні стати частиною «смарт-світу». «Розумними» прагнули чи прагнуть стати Львів, Дніпро, Харків, Одеса, Київ[8].

Стандартизація для «розумних» міст. З огляду на велике значення стандартизації для створення «розумних» міст, в різних організаціях здійснюються в цій області різноманітні заходи. Наприклад, Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) розглядає стандарти «розумних» міст в рамках групи, що займається темою «системи показників» розумної «інфраструктури спільнот». У Секторі стандартизації електрозв'язку МСЕ (МСЕ-Т) сформована оперативна група по «розумним» стійким містам для оцінки потреб в стандартизації міст, які прагнуть посилити свою соціальну, економічну та екологічну стійкість через інтеграцію ІКТ в міську інфраструктуру та діяльність. Рішення про створення цієї нової Оперативної групи прийняла 5 Дослідницька комісія (Навколишнє середовище та зміна

клімату) на своїх зборах, яке відбулося 29 січня - 7 лютого 2013 року в Женеві. Створення цієї Оперативної групи стало відповіддю на заклик до дій, який прозвучав під час другої «Тижня» зелених «стандартів МСЕ», що проводилася в вересні 2012 року в Парижі. «Розумні» стійкі міста - це також тема третього конкурсу МСЕ «Додатки на базі екологічно чистих ІКТ» [5].

Для того щоб формування «розумних» міст стало наступним етапом процесу урбанізації, будуть потрібні нові стандарти, інфраструктура і рішення ІКТ, тільки тоді ця концепція отримає реальне втілення. Оперативна група МСЕ-Т по «розумним» стійким містам служитиме відкритим майданчиком для зацікавлених сторін створення «розумних» міст - муніципалітетів, академічних та науково-дослідних установ, неурядових організацій та організацій у сфері ІКТ, а також галузевих форумів і консорціумів. Зацікавлені сторони зможуть обмінюватися знаннями з метою вироблення стандартизованих основ, необхідних для забезпечення інтеграції послуг на базі ІКТ в «розумних» містах.

Проаналізувавши всі вказані міста, можна побачити що вони розраховані так, щоб зберігати природні ресурси планети, використовуючи альтернативні методи добутку електроенергії та підтримка екології навколишнього середовища. Кількість розумних міст зростає щороку і світ готовий їх приймати. Адже за цими інноваціями стоїть майбутнє. З усього вищенаведеного можемо зробити такі висновки.

1. Розумне місто - це місто знань, цифрове місто, кібермісто або екомісто, в якому органічно узгоджуються комунальні системи. Це система, яка дозволяє якнайефективніше використовувати наявні ресурси міських служб і забезпечувати максимальну безпеку міського життя. Таке місто постійно збільшує кількість та якість надаваних населенню послуг, забезпечуючи стійке середовище, яке сприяє добробуту і збереженню здоров'я городян, підвищенню комфорту та якості життя.

2. Історичні передумови формування розумного міста передбачали поєднання різних систем управління в цілісну органічну єдність з метою

досягнення синергічного ефекту від управління містом шляхом упорядкування різних напрямів комунального господарства, медицини, освіти, культури тощо.

3. Для успішного впровадження SMART - підходів до розвитку великих міст першочерговими завданнями є розроблення відповідного нормативного і методико-технологічного забезпечення (як на загальнонаціональному, так на регіональному й місцевому рівнях), формування загальних та локальних систем забезпечення соціальної, економічної, екологічної, продовольчої безпеки, розвиток громадянських ініціатив і соціальної відповідальності у цій сфері; реалізація програм і проектів щодо формування економічного базису структурних перетворень інституційних та соціоеколого-економічних систем великих міст [18]. Подальшого наукового опрацювання потребує комплекс інноваційних інструментів розвитку громади великого міста, ключовими характеристиками якого мають стати взаємоінтегрованість його підсистем, взаємоузгодженість сервісів та орієнтованість на комфорт громадян.

1.1.3. Кібербезпека як ключовий елемент концепції «Розумного міста»

Кібербезпека в контексті «smart city» є актуальною темою. Мета «розумного міста» - оптимізація динамічного міста для того, щоб запропонувати кращу якість життя громадян за рахунок застосування інформаційно-комунікаційних технологій (далі - ІКТ). Діапазон галузей, де міста можуть стати «розумнішими» широкий, адже це еволюція «пов'язаних міст» з перевагою у тому, що обмін даних відбувається у більшому масштабі. За прогнозами PWC (Price waterhouse Coopers - міжнародна мережа компаній, що пропонують професійні послуги в галузі консалтингу та аудиту) ринок технологій для «smart cities» до 2025 року сягне позначки в 2,5 трильйони доларів [17]. Аналітики відзначають, що smart cities схильні до загроз з боку всього арсеналу кіберзлочинців, починаючи від «традиційного» шкідливого

програмного забезпечення, DDos-атак (DDoS-атака (Distributed Denial of Service attack) - комплекс дій, що здібний повністю або частково вивести з ладу Інтернет-ресурс, веб-сайт, ігровий сервер або державний ресурс) і закінчуючи таємним проникненням з метою розкрадання даних або втручання в роботу інформаційних систем.

Нині на Заході існує широка номенклатура стандартів і регламентів, які обумовлюють побудову галузевих систем безпеки. Всі вони схожі, хоча і мають свої національні локалізації. Цікаво, що в даний час виробники електронного устаткування для Smart City розробляючи найсучасніші рішення не передбачають установку в них складних систем безпеки, що запобігають втручанням ззовні. Це стосується не тільки комунальних систем, але і рішень в області медицини.

Для побутових інтелектуальних лічильників (моніторинг споживання електрики і газу) з безпроводовим підключенням ще шість років тому з'явився вірус. Наприклад, до 2020 року такі лічильники мають бути встановлені у всіх домогосподарствах в Великобританії. Але уразливість комунальних систем закладається вже на етапі впровадження. Тому вимоги до кібербезпеки повинні враховуватися ще на стадії розгляду стратегії з розвитку міста. Адже це не просто підключення пристроїв до мережі інтернет, як у звичайному IT-проекті або при управлінні мережею. Відсутність захисту при розгляді будь-якого проекту може мати серйозні наслідки, так як у міста утворюються зв'язки на локальному та національному рівні. Кібербезпека сприяє розвитку розумного міста. Вона повинна фокусуватися на безперервному і інтегрованому моніторингу віртуальної і фізичної безпеки, ранньому визначенні аномалій в даних, проактивному реагуванні, зниженні ризику, дотриманні правил і управлінні. У розумному місті інформація - це все. Вона критична для роботи віртуальних платіжних систем, нарахування податків, системах забезпечення якості життя. Умови якісного функціонування підключених платформ і сервісів не можуть допустити втрату фізичних даних, так як це призведе до збоїв або руйнувань. Якщо буде порушена вся

взаємопов'язана розумна інфраструктура, така як обробка грошових переказів, і банківські операції - то це призведе до втрати даних та віртуального виснаження. Обрив або втрата даних про податкові платежі, грошові перекази або структурі ланцюга поставок може за кілька днів залишити локальні або федеральні державні органи без оперативних засобів. Такий стан віртуального виснаження може стати незворотним. Кіберзлочинці можуть використовувати в своїх атаках елементи ІТ-систем smart city. Досить згадати, що в одній з найбільших DDos-атак останнього часу було задіяно близько 500 тисяч веб-камер, підключених до мережі Інтернет. У подібних нападах можуть використовуватися інші підключені до мережі пристрої міських інформаційних систем, наприклад, датчики вимірювання тиску. Найбільш використовувані контрзаходи включають в себе контроль цифрового доступу до даних і мереж, впровадження організаційних та операційних процедур та керівних принципів, аварійне відновлення та підтримка резервних копій, а також моніторинг несправностей апаратного та програмного забезпечення. Тоді як найбільш ефективним вважається навчання персоналу, фізичний контроль і захист доступу. Підвищити рівень кібербезпеки рекомендується таким чином: 1) ІТ-оператори повинні співпрацювати на такій платформі, щоб можна було зрозуміти загрози та ризики, обмінюватися належними практиками та зблизити свої підходи у сфері кібербезпеки. Крім того, важливо, щоб муніципалітети теж брали участь у такій платформі, щоб бути обізнаними. 2) Необхідно уточнити обов'язки для всіх учасників, що керують розумним містом (оператори ІТ, муніципалітети, виробники, інтегратори, кінцеві користувачі) стосовно збирання, обміну та обробки даних. Це забезпечить краще знання прав та обов'язків кожного для захисту даних та підвищення безпеки в «розумному місті».

Є декілька шляхів вирішення проблем від навмисних нападів:

1) Використання приватних віртуальних мереж: вони розширюють приватну мережу через загальнодоступну мережу і дозволяють використовувати політику функціональності, безпеки та управління приватними мережами.

Віртуальні приватні мережі пропонують всебічну безпеку і можуть бути адаптовані до конкретної вимоги щодо захисту обміну даними;

2) Шифрування даних: шифрування - перетворення електронних даних у шифр-текст, який не може бути легко зрозумілим нікому, крім уповноважених сторін. Чутливі дані повинні бути захищені (бажано сильним) шифруванням у спокої та транзиті;

3) Контроль доступу: стосується способів, за якими надають/відмовляють у схваленні доступу до предмету, що базуються на успішній аутентифікації. Контроль доступу, як правило, являє собою комбінацію фізичних заходів (ключ, блокування) та логічних заходів (напр., аутентифікація, список доступу);

4) Створення журналів активності: журнали активності, аудиторські сліди та записи записів помилок в журнал. Ці журнали пропонують доказ та аналіз потенціалу у випадку інциденту. Вони дають хороший показник того, що сталося, і як ефективно загрожувала ця загроза. Забезпечувати інформаційну безпеку в розумному місті потрібно з урахуванням конструктивних і архітектурних особливостей. На сьогоднішній день не існує універсальної моделі для забезпечення безпеки розумного міста на національному рівні. Уже робляться серйозні зусилля для того, щоб почати цей процес, як через фінансування проектів локальних і окружних розумних міст, так і за допомогою проектів перехресного обміну даними через об'єднані робочі групи і аналітичні центри обміну інформацією.

1.2 Технології Інтернету речей IoT

1.2.1 Основні принципи та концепція Інтернету речей

Офіційне визначення Інтернету речей наведено в Рекомендації МСЕ-ТУ.2060, згідно з яким IoT - глобальна інфраструктура інформаційногосупільства, яка забезпечує передові послуги за рахунок організації зв'язку між речами (фізичними або віртуальними) на основі

існуючих і таких, що розвиваються, сумісних інформаційних і комунікаційних технологій. Для функціонування концепту Інтернет-речей використовується мережа Інтернет. Набуває поширення також термін англ. Internet of Everything, IoE - всеохопний або всеосяжний інтернет.

Концепція IoT відіграє визначальну роль у подальшому розвитку інформаційно-комунікаційної галузі. Це підтверджується як позицією Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) і Європейського Союзу в даному питанні, так і включенням Інтернету речей в перелік прогресивних технологій в США, Китаї та інших країнах. І хоча на національному рівні дана концепція вже набуває рис такої, що сформувалася технології, для неї ведуться активні роботи в області стандартизації архітектури, технічних компонентів, додатків.

У зв'язку з бурхливим розвитком мереж з пакетною комутацією і перш за все Інтернету на початку 2000-х років світове телекомунікаційне співтовариство спочатку виробило, а потім і приступило до реалізації нової парадигми розвитку комунікацій - мереж наступного покоління NGN (Next Generation Networks). Основна відмінність мереж наступного покоління від традиційних мереж в тому, що вся інформація, яка циркулює в мережі, розбита на дві складові. Це сигнальна інформація, що забезпечує комутацію абонентів та надання послуг, і безпосередньо дані користувача, що містять корисну інформацію, призначену абоненту (голос, відео, дані). Шляхи проходження сигнальних повідомлень і даних користувача можуть не збігатися.

Технології NGN вже пройшли еволюційний шлях розвитку від гнучких комутаторів (Softswitch) до підсистем мультимедійної зв'язку IMS (IP Multimedia Subsystem) і безпроводових мереж тривалої еволюції LTE (Long Term Evolution). При цьому завжди передбачалося, що основними користувачами мереж NGN будуть люди і, отже, максимальне число абонентів в таких мережах завжди буде обмежена чисельністю населення планети Земля.

Останнім часом значного розвитку набули методи радіочастотної ідентифікації RFID (Radio Frequency IDentification), безпроводові сенсорні

мережі WSN (Wireless Sensor Network), комунікації малого радіусу дії NFC (Near Field Communication) і міжмашинні комунікації M2M (Machine-to-Machine), які, інтегруючись з інтернетом, надають можливість забезпечити простий зв'язок різноманітних технічних пристроїв («речей»), число яких може бути величезним. За розрахунками консалтингового підрозділу Cisco IBSG в проміжку між 2008 і 2009 роками кількість підключених до інтернету предметів перевищило кількість людей, до 2015 року кількість підключених пристроїв досягне 25 мільярдів, а до 2020 року - 50 мільярдів рис. 1.4. Таким чином, в даний час відбувається еволюційний перехід від «Інтернету людей» до «Інтернету речей», IoT (Internet of Things) [12].

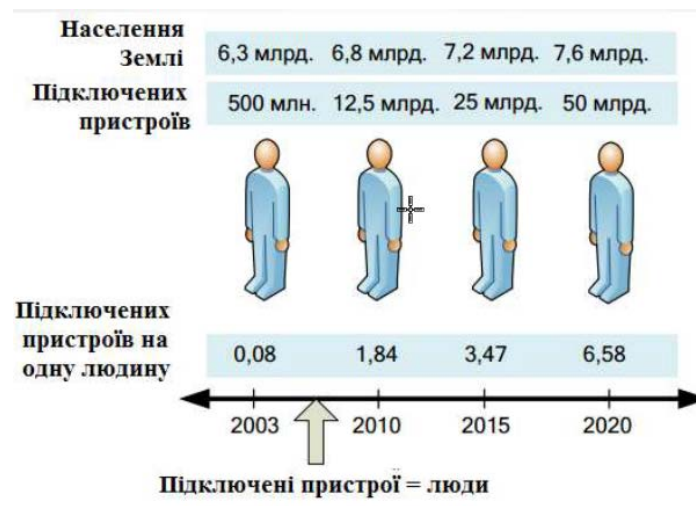


Рисунок 1.4 - Залежність кількості людей і пристроїв, підключених до інтернет з плином часу за версією Cisco IBSG

Слід особливо відзначити, що Інтернет речей не виключає участь людини. IoT в повному обсязі автоматизує речі, так як він орієнтований на людину і надає йому можливість доступу до речей. Але багато речей зможуть вести себе інакше, ніж ми уявляємо собі сьогодні. У IoT кожна річ має свій унікальний ідентифікатор, які спільно утворюють континуум речей, здатних взаємодіяти один з одним, створюючи тимчасові або постійні мережі. Так речі можуть брати участь в процесі їх переміщення, ділячись інформацією про поточну геопозиції, що дозволяє повністю автоматизувати процес логістики, а маючи вбудований інтелект, речі можуть змінювати свої властивості і

адаптуватися до навколишнього середовища, в тому числі для зменшення енергоспоживання. Вони можуть виявляти інші, так чи інакше пов'язані з ними речі, і налагоджувати з ними взаємодію. IoT дозволяє створювати комбінацію з інтелектуальних пристроїв, об'єднаних мережами зв'язку, і людей. Спільно вони можуть створювати найрізноманітніші системи, наприклад, для роботи в середовищах, незручних або недоступних для людини (в космосі, на великій глибині, на ядерних установках, в трубопроводах і т.п.) [1].

Все почалося з необхідності оптимізації системи логістики та управління системою постачання підприємств. Друга хвиля інновацій була обумовлена необхідністю скорочення витрат в системах спостереження, безпеки, транспорту та ін. Третя була викликана потребою в геолокаційних сервісах. Четверта хвиля буде обумовлена необхідністю дистанційної присутності людини на місці події і вимагатиме його уваги, яка стане можливим завдяки мініатюрним вбудованим процесорам. З розвитком Інтернету речей все більше предметів будуть підключатися до глобальної мережі, тим самим створюючи нові можливості в сфері безпеки, аналітики та управління, відкриваючи все нові і більш широкі перспективи і сприяючи підвищенню якості життя населення.

Для практичної реалізації всі навколишні предмети і пристрої (домашні прилади і посуд, одяг, продукти, автомобілі, промислове обладнання та ін.) повинні бути забезпечені мініатюрними ідентифікаційними і сенсорними (чутливими) пристроями. Тоді при наявності необхідних каналів зв'язку з ними можна не тільки відслідковувати ці об'єкти і їх параметри в просторі і в часі, але і керувати ними, а також впроваджувати інформацію про них в загальну «розумну планету». У загальному вигляді з інформаційнокомунікаційної точки зору Інтернет речей можна записати у вигляді такої символічної формули:

$$\text{IoT} = \text{Сенсори (датчики)} + \text{Дані} + \text{Мережі} + \text{Послуги}.$$

Прогнозується, що в майбутньому «речі» стануть активними учасниками бізнесу, інформаційних і соціальних процесів, де вони зможуть взаємодіяти і спілкуватися між собою, обмінюючись інформацією про навколишнє середовище, реагуючи і впливаючи на процеси, що відбуваються в навколишньому світі, без втручання людини, безсумнівно всі наведені речі можливі лише за умови постійного технологічного прогресу [3]. Процес розвитку концепції IoT прямо пропорційно залежить від технологічних досягнень, це проілюстровано на рис. 1.5

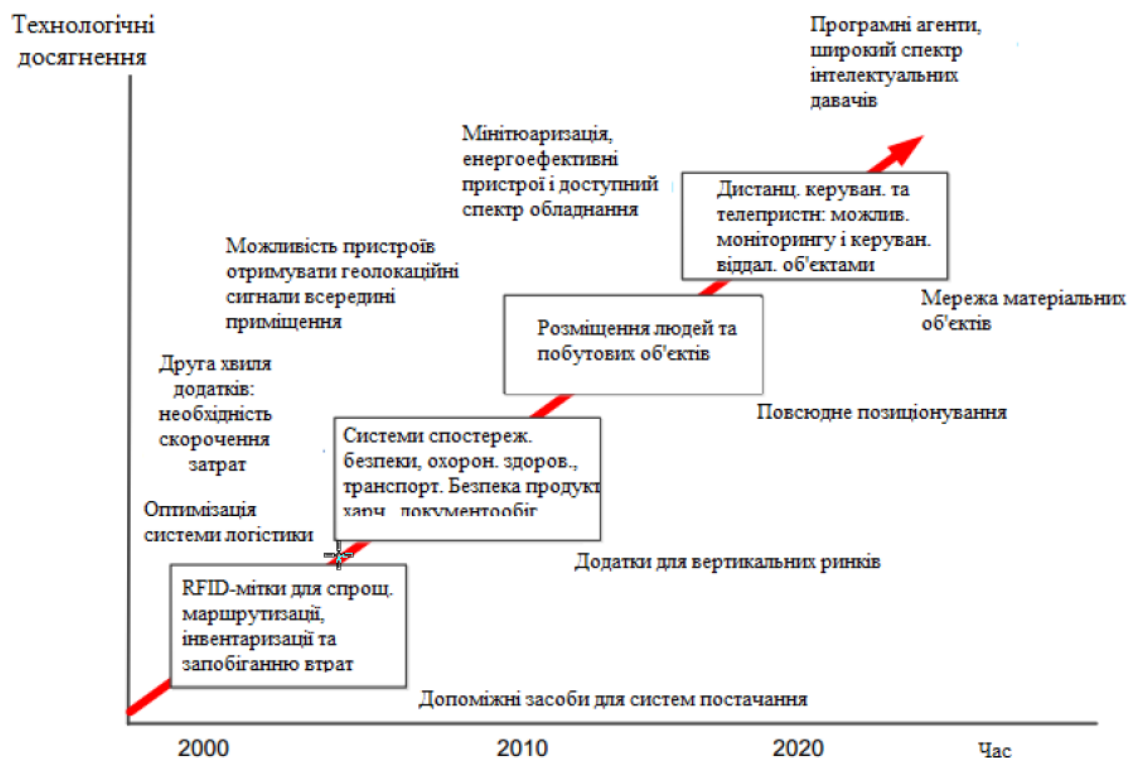


Рисунок 1.5 – Розвиток IoT з урахуванням технологічних досягнень з часом.

Варто розуміти, що прогнозований результат далеко не завжди може бути саме такий, адже на нього впливають багато факторів, найбільш суттєві з них зазначені на рис 1.6

Рушійні фактори	Стримуючі фактори
Стрімкий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій	Необхідність прийняття загальних стандартів
Мода на смартфони, планшети та інші мобільні пристрої	Повільний перехід до протоколу IPv6
Логістика та управління постачанням	Ризик закритості приватних мереж
Підвищення безпеки та зручності автотранспорту	Несумісність ряду компонентів
Необхідність збереження навколишнього середовища та зниження енергозатрат	Проблема захисту персональних даних та безпеки
Розвиток сфери контролю за контрафактною продукцією і захисту від крадіжок	Порівняно висока вартість інтеграції
Підтримка держав та дії інноваторів	

Рисунок 1.6 – Базові фактори, що впливають на IoT

Фундаментальними характеристиками Інтернету речей є:

- Взаємозв’язаність. Всі пристрої взаємодіють через глобальну або локальну інфраструктуру інформаційного обміну.
- Сервіси, орієнтовані на пристрої. Інтернет речей здатний забезпечити семантичну узгодженість між фізичними об’єктами реального світу і їх інформаційним поданням у віртуальному просторі і об’єднати фізичні пристрої з урахуванням правил і обмежень.
- Гетерогенність. Пристрої в IoT неоднорідні за визначенням і можуть належати різним мережам і апаратних платформ, що не є перешкодою до взаємодії.
- Динамічність. Стан пристроїв змінюється постійно: включення і виключення, контекстна і технологічна інформація, включаючи місцезнаходження і швидкість. Кількість підключених пристроїв також може динамічно змінюватися.
- Масштабність. Кількість пристроїв, які будуть «спілкуватися» і отримувати керуючий вплив в десятки разів перевищить кількість вузлів в поточній мережі Інтернет. Очевидно, що кількість комунікацій, які можуть бути ініційовані пристроями, радикально перевищить можливе число з’єднань, ініціаторами яких виступають люди. Тому на перший план виходять

питання інтерпретації даних, з метою їх подальшого застосування.

1.2.2 Особливості трафіку в IoT

Трафік, що створюється в рамках надання послуг Інтернету речей, має ряд особливостей в порівнянні з трафіком базових послуг електрозв'язку (передача голосу, передача даних), що використовуються для взаємодії H2H (англ. Human-to-Human, людина-людина) і H2M (Англ. Human-to-Mashine, людина-машина). Це визначає розвиток ринку послуг Інтернету речей в частині чинників тарифікації.

Особливостями трафіку між пристроями Інтернету речей є:

- випадковий характер взаємодії пристроїв Інтернету речей і коротка тривалість сеансів їх взаємодії;
- невеликий обсяг переданих даних, що вимагає невеликої пропускну здатності використовуваної мережі доступу при великій кількості підключених пристроїв Інтернету речей;
- низька мобільність пристроїв Інтернету речей або повна відсутність такої;
- обсяг трафіку від пристроїв Інтернету речей до мережі електрозв'язку часто значно перевищує обсяг трафіку в зворотному напрямку, що обумовлено передачею тільки службової інформації;

1.3 Радіочастотна ідентифікація RFID

Радіочастотна ідентифікація RFID (Radio Frequency IDentification) - загальний термін, який використовується для позначення систем, які безпроводовим шляхом за допомогою радіохвиль зчитують ідентифікаційний номер (у формі унікального серійного) будь-якого предмета або людини. RFID відноситься до великої області технологій автоматичної ідентифікації (Auto-ID), які включають в себе штрих-коди, оптичні зчитувачі і деякі біометричні

технології, як наприклад, сканування сітківки ока. У загальному випадку технології Auto-ID використовуються з метою економії часу і праці, що витрачаються на введення даних вручну і поліпшення точності інформації. Деякі Auto-ID технології, такі як системи штрихового коду, часто вимагають участі людини, для сканування і фіксування інформації вручну. Система RFID ж сконструйована таким чином, що дає можливість вважати і передавати дані в комп'ютерну систему без участі людини і в реальному масштабі часу. Технологія RFID здатна принести користь в найбільш різних областях людської діяльності, включаючи промисловість, торгівлю, освіту, медицину і ін. Будь-яка RFID-система складається з пристрою, що зчитує (рідера) і невеликих ідентифікуючих пристроїв (RFID-міток), які містять зазвичай резонансний LC-контур, контролер і перепрограмовуваний постійно запам'ятовуючий пристрій EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory). Вміст пам'яті для кожної мітки дозволяє ідентифікувати носія мітки (об'єкта або людини). Основний принцип такої роботи зводиться до наступного. Зчитувач випромінює радіохвилю, яка приймається єдиною міткою. Мітка, таким чином, отримує енергію і відображає хвилю тієї ж частоти (завдяки індуктивного зв'язку), модульовану кодованим вмістом пам'яті. Зчитувач приймає цей сигнал, демодулює і декодує його, щоб визначити вміст пам'яті. Потім ідентифікаційна система верхнього рівня перевіряє ці дані і, відповідно керує процесом. Привабливість такої системи полягає в тому, що вона забезпечує безконтактну взаємодію між зчитувачем і RFID-мітками (уникаючи, таким чином, обмеження на позиціонування об'єкта з міткою), причому мітки не вимагають джерела живлення, однак коли в поле зчитувача знаходяться дві мітки, вони обидві відповідають на випромінений зчитувачем сигнал. При цьому демодульований сигнал зчитувача є поєднанням двох компонентів від двох міток і не може бути декодований. Така система не здатна одночасно ідентифікувати два об'єкти. Відомі кілька способів вирішення цієї проблеми. Деякі полягають у тому, що зчитувач і мітки взаємодіють відповідно до заздалегідь визначених протоколом, так що

сигнали кожної мітки успішно розділяються. Інший підхід полягає у використанні міток на різних частотах. За дальності зчитувача RFID-системи можна поділити на такі типи: ближньої ідентифікації (зчитування проводиться на відстані до 20 см), ідентифікація середньої дальності (від 20 см до 5 м), дальня ідентифікація (від 5 м до 100 м). Використання RFID-систем найбільш актуально для компаній, які беруть участь в процесі виробництва, постачання і реалізації різних товарів [14]. По-перше, використовуючи RFID-системи, спрощується інвентаризація товарів на складі. Також значно спрощується їх прийом і відвантаження. Крім того, завдяки наявності RFID-міток і RFID-зчитувачів і спеціального комп'ютерного обладнання стало можливим створювати об'ємні бази даних з обліку і руху товару.

1.4 Міжмашинна взаємодія (M2M)

Міжмашинна взаємодія (машинно-машинна взаємодія) - загальна назва технологій, яка дозволяє машинам проводити обмін інформацією між собою, або ж передавати її в односторонньому порядку в автоматичному режимі між пристроями без участі людини. Це можуть бути провідні і безпроводові системи моніторингу датчиків або будь-яких параметрів пристроїв (температура, рівень запасів, місцезнаходження і т. д.). Наприклад, банкомати або платіжні термінали можуть автоматично передавати інформацію по GSM-мережах, а також якщо у них закінчилися чеки або готівка, або ж навпаки, якщо готівки занадто багато і потрібен приїзд інкасаторів. M2M також активно використовується в системах безпеки і охорони, вендингу, системах охорони здоров'я, промислових телеметричних системах (виробництво, енергетика, ЖКГ та ін.) І системах позиціонування рухомих об'єктів на основі систем ГЛОНАСС / GPS. Одним з підкласів M2M міжмашинної взаємодії є використанням мобільних рішень, для нього також може використовуватися абревіатура M2M (англ. Mobile-to-Mobile). Однією з перших розробок M2M, інтегрованих з безпроводовими рішеннями,

вважається OmniTRACS - рішення американської компанії Qualcomm, яке було створено в 1989 році для контролю і відстеження комерційного транспорту. Концепція M2M об'єднує телекомунікаційні та інформаційні технології для автоматизації різних технологічних і бізнес процесів. Для реалізації міжмашинних комунікацій використовується всі можливі середовища передачі даних: електричні лінії, волоконно-оптичні лінії, радіолінії. Використання міжмашинних комунікацій дає очевидні переваги. По-перше, можливість віддаленого моніторингу та управління віддаленими об'єктами, до яких не вигідно прокладати проводове підключення. По-друге, можливість оперативно і досить просто підключити нові пристрої без додаткових витрат. Ну і нарешті, це управління об'єктами там, де використання проводів неможливо в принципі (наприклад, для моніторингу та управління рухомими об'єктами), також слід відзначити такий фактор як стандартизація.. В даний час можна виділити понад 140 організацій, прямо або побічно беруть участь в процесах стандартизації M2M. У 2007 році технічний комітет ETSI підготував ряд документів, що визначають випадки застосування M2M для електронної охорони здоров'я e-Health (TR 102 732), інтелектуальних лічильників (TR 102 692), для споживачів (TR 102 857), а також терміни та визначення (TR 102 725), вимоги до послуг M2M (TS 102 689) і функціональну архітектуру мережі M2M (TS 102 690). За версією ETSI, M2M це симбіоз телеком та інформаційних технологій для автоматизації бізнес-процесів і створення послуг з доданою вартістю VAS (Value Added Service), спрямованих на управління інформаційними та технологічними процесами в різних галузях життєдіяльності суспільства [6]. Функціональна архітектура M2M представлена в стандарті ETSI TS 102 690. Вона розділена на два домена: домен пристроїв і шлюзів M2M і мережевий домен. Для того щоб розрізнити поняття M2M та IoT наведена табл. 1.1.

Таблиця 1.1– Різниця між концепціями M2M та IoT

M2M	IoT
<p>Інформація збирається з певної точки мережі й пов'язана з нею передається за допомогою додатку. Дані структуровані. Власник даних визначений. Маштаб мережі прогнозований. Результат: створення системи по збору структурованої інформації.</p>	<p>1) Інформація може надходити через будь-яку кінцеву точку шляхом будь-якої IP мережію.</p> <p>2) Дані не структуровані та часто географічно розподілені.</p> <p>3) Власник даних чітко не визначений.</p> <p>4) Маштаб мережі не прогнозований.</p> <p>5) Ключовим є аналітика великих даних (Big Data).</p> <p>Результат: перехід від системи до екосистеми. Створення «системи всередині системи»</p>

Домен пристроїв і шлюзів M2M включає в себе наступні елементи: пристрій M2M - підтримує M2M додатки і використовує сервісні можливості M2M. Пристрій підключається до мережного домену наступними способами:

а) пряме з'єднання - пристрій M2M підключається до мережного домену через мережу доступу, при цьому пристрою M2M доступні такі процедури, як реєстрація, аутентифікація, авторизація, управління і ініціалізація в межах мережевого домену. Пристрій M2M може надавати сервіси інших пристроїв, прихованим від мережевого домена;

б) шлюз в якості мережевого проксі-сервера - пристрій M2M підключається до мережного домену через шлюз M2M. до шлюзу пристрої M2M підключаються через доступну мережу пристроїв M2M, в цьому випадку шлюз відіграє роль проксі-сервера. Через проксі-сервер доступні такі процедури як аутентифікація, авторизація, управління і ініціалізація.

1.5 Взаємодія IoT з перспективними інфокомунікаційними технологіями. Big data. Хмарні обчислення (Cloud Computing)

Великі дані (Big Data). Інтернет речей радикальним чином збільшує обсяг отримуваних даних, що є наслідком величезної кількості джерел інформації. Гігантські сенсорні мережі вже зараз виробляють величезні потоки даних, які треба вміти не тільки зберігати, але й обробляти, робити по ним висновки, приймати рішення - і все це з урахуванням неточності як оригінальних даних, так і процедур обробки. В кінці 2000-х років для обробки великого обсягу даних сформувався підхід, який називається «великі дані» - це серія інструментів і методів обробки структурованих інеструктурованих даних величезних обсягів та значного різноманіття останніх, задля отримання необхідних результатів обробки. Основна відмінність великих даних від «звичайних» полягає в тому, що ці дані неможливо обробити традиційними системами управління базами даних (СУБД) і рішеннями класу Business Intelligence через їх великий обсяг і різноманітний склад. Інша важлива їх властивість - феноменальне прискорення накопичення даних і постійна зміна. Такі популярні завдання, як зведення даних, отриманих з різних джерел, вимагають особливих методів аналізу в разі неточних даних, особливо даних величезних розмірів. У зв'язку з цим і був розроблений набір інструментів, які отримали назву «великі дані», що дозволяють працювати з даними незалежно від їх типу і обсягу.

Методи і техніки аналізу великих даних:

- методи класу видобутку даних Data Mining;
- навчання асоціативним правилами, класифікація, кластерний аналіз, регресивний аналіз;
- краудсорсінг;
- категоризація та збагачення даних силами широкого, невизначеного кола осіб, залучених на підставі публічної оферти, без вступу в трудові відносини;

- змішання і інтеграція даних;
- набір технік, що дозволяють інтегрувати різнорідні дані з різноманітних джерел для можливості глибинного аналізу;- машинне навчання;
- використання моделей, побудованих на базі статичного аналізу або машинного навчання для отримання комплексних прогнозів на основі базових моделей;штучне нейронні мережі, мережевий аналіз, оптимізація, в тому числі генетичний алгоритм;- розпізнавання образів;
- прогнозна аналітика;
- імітаційне моделювання;
- просторовий аналіз як клас методів, які використовують топологічну, геометричну і географічну інформацію в даних;- статистичний аналіз (наприклад, А / В-тестування, аналіз часових рядів);
- візуалізація аналітичних даних , подання інформації у вигляді малюнків діаграм, з використанням інтерактивних можливостей та анімації, як для отримання результатів, так і при використанні в якості вихідних даних для подальшого аналізу.

1.6 Розподілені обчислення

Так як інтернет речей породжує «великі дані», тому виникає закономірне питання: де їх зберігати і чим обробляти? Відповіддю на це питання є перспективна інфокомунікаційних технологія - хмарні обчислення (CC, Cloud Computing). Хмарні обчислення передбачають оренду послуг і ресурсів для зберігання і обробки даних в глобальній мережі замість власної інфраструктури. У систем CC повинні бути п'ять основних характеристик: самообслуговування на вимогу, широкосмуговий мережевий доступ, пул ресурсів, можливість швидкого переналаштування або розширення і вимірюване обслуговування. Існують чотири моделі розгортання хмарної інфраструктури (так званих «хмар»):

1. Приватна хмара (англ. Private cloud) - інфраструктура, призначена для використання однією організацією, що включає кілька споживачів (наприклад, підрозділ однієї організації), можливо також клієнтами і підрядниками даної організації, так і третьої сторони (або будь-якої їх комбінації), і вона може існувати як всередині, так і поза юрисдикцією власника.

2. Публічна хмара (англ. Public cloud) - інфраструктура, призначена для вільного використання широкою публікою. Публічна хмара може перебувати у власності, управлінні експлуатації комерційних, наукових і урядових організацій (або будь-якої їх комбінації). Публічна хмара фізично існує в юрисдикції власника - постачальника послуг.

3. Гібридна хмара - (англ. Hybrid cloud) - це комбінація з двох або більше різних інфраструктур (приватних, публічних або суспільних), що залишаються унікальними об'єктами, але пов'язані між собою стандартизованими або приватними технологіями передачі даних і додатків.

4. Громадська хмара (англ. Community cloud) - вид інфраструктури, призначена для використання конкретним спільнотою споживачів з організацій, що мають спільні завдання (наприклад, місії, вимог безпеки, політики, і відповідності різним вимогам). Громадська хмара може перебувати в корпоративної (спільної) власності, управлінні в експлуатації однієї або більше організацій спільноти або третьої сторони (або будь-якої їх комбінації), і вона може фізично існувати як всередині, так і поза юрисдикцією власника. Різні послуги СС, що позначаються в загальному випадку як ХааС (XaaS a Service), можна віднести до трьох основних класів:- «інфраструктура, як послуга» (IaaS, Infrastructure as a service) - оренда потужності серверів і ємності систем центрів обробки даних (ЦОД);- «програмне забезпечення, як послуга» (SaaS, Software as a Service) - оренда програмного забезпечення (ПО), яке запускається з «хмари», «платформа, як послуга» (PaaS, Platform as a Service) - оренда платформи розробки ПЗ колективними або індивідуальними розробниками. Всі інші послуги систем СС) можна так чи інакше, віднести до трьох вищевказаних класів звичайних послуг. Для роботи технологій

інтернету речей можна використовувати і туманні обчислення (Fog Computing). Під туманом мається на увазі наближення «хмари до землі», в даному випадку «туман» - це різновид хмарних сервісів, в навколишньому середовищі. Інакше кажучи, Fog computing не альтернатива, а доповнення до CloudComputing, і можуть виникнути ситуації їх спільної дії (наприклад, виконання аналітичного додатку), і в такому випадку Cloud надасть послугу Fog. Туманні обчислення доповнюють хмарні обчислення і забезпечують взаємодію розумних речей між собою і хмарними ЦОД у вигляді трирівневої ієрархічної структури. Верхній рівень займають тисячі хмарних ЦОД, що надають ресурси, необхідні для виконання серйозних, наприклад аналітичних, програмних додатків IoT. Рівнем нижче розташовуються десятки тисяч розподілених керуючих ЦОД, в яких міститься «інтелект» Fog Computing, а на нижньому рівні знаходяться мільйони обчислювальних пристроїв «розумних» речей [4]. Fog Computing можна визначити в максимальному ступені як віртуалізовану платформу, що підтримує три основних типи сервісів, що утворюють міжмашинні комунікації M2M: обчислення, зберігання та мережу. Завдання Fog Computing полягає в забезпеченні взаємодії мільярдів пристроїв між собою і з хмарними ЦОД. Парадигма Fog Computing відрізняється від Cloud Computing за цілою низкою параметрів.

1. Розподіл обчислювальної потужності і реальний час. Значні обчислювальні ресурси можуть бути розміщені на периферії мережі, причому не повинно бути залежності від координат того місця, де знаходиться пристрій, і при тому робота в режимі реального часу передбачає низький рівень затримок при обміні даними, до того ж може статися конвергенція двох існуючих, довгий час автономно, одна від одної систем - управління бізнесом і технологічними системами.

2. Географічний розподіл компонентів. Модель розподілу сервісів в Fog Computing менш централізована, ніж для хмар, а окремі пристрої можуть бути пов'язані між собою потоками даних і надавати один одному «важкі» сервіси.

3. Великий обсяг зовнішніх даних. Пристрої, що мають численні сенсори, можуть в реальному часі генерувати гігантські обсяги даних.

4. Складна топологія. Мільйони географічно розподілених вузлів можуть створювати різноманітні і недетерменовані заздалегідь зв'язку.

5. Мобільність і гетерогенність. Мобільність пристроїв зажадає використання альтернативних протоколів, наприклад протоколу маршрутизації LISP (Locator / ID Separation Protocol), який дозволяє розділити функціональність IP-адрес на 2 частини: ідентифікатори хостів і локатори маршрутизації. Концепція передбачає установку тунельних маршрутизаторів, які будуть додавати LISP-заголовки в інформаційні пакети по мірі їх руху по мережі.

Висновки до розділу

1. Галузь інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) активно розвивається останніми десятиліттями. Наслідком структурування цих еволюційних тенденцій є концепція «розумного міста». З огляду на процеси глобалізації та інтеграції у світі, «розумні міста» давно почали набирати популярності серед провідних країн ЄС у всіх сферах, як в побутовому житті, так і в сферах, що стосуються промисловості, громадської безпеки, державного управління, медицини, екології, транспорту та інших важливих сфер життя на національному рівні.

2. Історичні передумови формування розумного міста передбачають поєднання різних систем управління в цілісну органічну єдність з метою досягнення сумарного ефекту від управління містом шляхом упорядкування різних напрямів комунального господарства, медицини, освіти, культури тощо. Для успішного впровадження SMART - підходів до розвитку великих міст першочерговими завданнями є розроблення відповідного нормативного і методико-технологічного забезпечення (як на

загальнонаціональному, так на регіональному й місцевому рівнях), формування загальних та локальних систем забезпечення соціальної, економічної, екологічної політики, реалізація програм і проектів щодо формування економічного базису структурних перетворень інституційних та соціоеколого-економічних систем великих міст.

3. Ключовим фактором для реалізації концепту «розумного міста» є Інтернет речей. Трафік, що створюється в рамках надання послуг Інтернету речей, має ряд особливостей в порівнянні з трафіком базових послуг електрозв'язку (передавання голосу, передавання даних), що використовуються для взаємодії H2H (англ. Human-to-Human, людина-людина) і H2M (Англ. Human-to-Mashine, людина-машина). Це визначає розвиток ринку послуг Інтернету речей в частині чинників тарифікації.

2 АПАРАТНІ ЗАСОБИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ «РОЗУМНОГО МІСТА»

2.1 Датчики і пристрої збору даних

Інтернет-речей (IoT) починається з джерел даних або виконавчих приладів, вони називаються кінцевими точками, і вони маючи вихід в Інтернет можуть бути об'єднаним у одну мережу. При обговоренні IoT взагалі, розгляд фактичних джерел даних часто ігнорується. Ці джерела є датчиками, що надають інформацію, створюють розрізнені по часу потоки даних. Для таких потоків необхідно забезпечити можливість передачі, аналізу та збереження і інформації. Цінність IoT в тому, що це комплексне рішення, а дані, що надходять, грають у цьому комплексі ключову роль. Таким чином, проектувальнику необхідно розуміти, що це за ці дані та як їх правильно інтерпретувати. Окрім розуміння того, які дані збираються і як вони утворюються в масиві IoT, потрібно знати, що саме і в таких межах вимірюється. Система повинна враховувати пристрої, які втратили зв'язок і помилкові дані. При розгортанні IoT необхідно враховувати безліч аспектів: вартість, опціональність, розміри, тривалість безаварійної роботи і точність вимірювання.

2.1.1 Термопары та температурні датчики

Датчики температури - це найбільш поширений тип датчиків, вони застосовуються скрізь: від інтелектуальних термостатів для холодних складів до охолоджувачів промислового обладнання.

Термопара (або ТЗ) - це пристрій для вимірювання температури, якому не потрібно джерело живлення, тому що воно саме генерує сигнал малої амплітуди (зазвичай мікровольт). Термопара - це два провідника, виготовлені з двох різних матеріалів, з'єднані в точці вимірювання температури. На металевому електроді, в залежності від його температури, виникає

електричний потенціал. У різних металів рівень цього потенціалу різний. Цей ефект відомий як електрорухомий ефект Зеєбека, його суть полягає в тому, що різниця потенціалів між двома різними металами знаходиться в нелінійної залежності від їх температури. Термопари слід використовувати при виконанні не дуже відповідальних вимірювань, оскільки показники окремих термопар, при інших рівних умовах, можуть різнитися. Це викликано тим, що різні добавки, що входять до складу вимірювальних електродів, можуть призводити до не відповідності з довідковими таблицями. Можна, звичайно, скористатися високоточними (прецизійними) термопарами, але вони і коштувати будуть, відповідно, дорожче. Іншим ефектом, що впливає на точність вимірювань, є старіння. Приклад термопари з діапазоном використання до 400°C показано на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 - Термопара типу Fe-const для регулятора температури типу DT, DTE, AD.

Так як термопари часто використовуються в промислових умовах, високотемпературні середовища з плином часу можуть погіршувати точність датчиків. Тому IoT-рішення повинні враховувати зміни, що відбуваються з датчиками в процесі їх експлуатації.

2.1.2 Резистивні датчики температури

Резистивні датчики температури (Resistance Temperature Detectors - RTD) працюють у вузькому діапазоні температур (нижче 600°C), (термопара до 1500°C), але дозволяють проводити вимірювання з більшою точністю, ніж термопари. Зазвичай вони виготовляються з дуже тонкого платинового проводу, щільно намотаного на керамічне або скляне осердя. Електричний опір такої конструкції пропорційно її температурі. Оскільки в основі вимірювання лежить вимірювання опору, то для роботи з RTD необхідний зовнішнє джерело живлення з вихідною силою струму 1 мА. RTD виготовляються відповідно до прийнятих стандартів, в яких визначені допустимий діапазон і крок вимірів. Наприклад, для датчика 200 PT100 RTD крок вимірювань становить $0,00200\text{ Ом} / ^{\circ}\text{C}$, а діапазон вимірювання лежить в межах від 0 до 100°C . В межах цього діапазону залежність опору RTD від його температури зберігає лінійний характер. Відповідно до стандартів RTD випускаються в двох-, трьох- і чотирьох провідних виконаннях, чотирипровідні моделі використовуються виключно в системах високоточного калібрування. RTD не часто використовуються в діапазоні вище 600°C , що обмежує їх застосування в промисловості.

2.1.3 Термістори

Термістор - це теж датчик температури, електричний опір якого залежить від його температури. Цей тип датчиків забезпечує більш високу точність вимірювань в порівнянні з RTD. По суті, це терморезистори, але з дуже нелінійною залежністю опору від температури. Їх часто використовують в якості згладжуючих фільтрів, для обмеження стрибків струму, а також у випадках, коли необхідна висока ступінь вимірювань у вузькому діапазоні температур. Існує два типи термісторів: NTC (їх опір зменшується при підвищенні температури) і PTC (їх опір зростає з підвищенням температури).

Основна відмінність від RTD полягає в тому, що термістори виготовляються з кераміки або полімерів, тоді як основою RTD завжди є метал. Термістори знаходять застосування в медичній сфері й науковому обладнанні, в харчовій промисловості, інкубаторах і в таких побутових приладах, як термостати.

2.1.4 Фотоелектричні датчики

Датчики для виявлення світла або визначення його інтенсивності викорисуються в багатьох пристроях IoT. Такі пристрої необхідні, наприклад, в системах безпеки, інтелектуальних комутаторах або в системах управління вуличним освітленням. Існує два типи таких датчиків, принцип дії яких зрозумілий з їх назви. Фоторезистор змінює опір в залежності від інтенсивності світла, а фотодіод перетворює світло в електричний струм. Фоторезистори виготовляються з напівпровідників з високим опором. Їх опір зменшується при збільшенні інтенсивності освітлення. У темряві опір фоторезистора може мати досить великі значення (порядку мегаом). Фотони, що поглинаються напівпровідником, переводять електрони в зону провідності, тим самим збільшуючи провідність матеріалу. Фоторезистори чутливі до довжини хвилі падаючого світла, тому їх типів і модифікацій існує величезна безліч. А ось фотодіоди - це повноцінні напівпровідникові прилади з р-п-переходом. Такі пристрої реагують на світло, створюючи електронно-діркову пару. Потік дірок, що рухаються до анода, і електронів, що рухаються до катода, створює електричний струм. Таким чином працюють традиційні сонячні батареї. Якщо на фотодіод подати зворотну напругу, то можна регулювати його чутливість або час відгуку.

2.1.5 LiDAR і активні датчики

Попередні розглянуті датчики є пасивними, які просто реагують на зміни навколишнього середовища, далі наведено огляд активних датчиків.

Активне зондування складається з надсилання сигналу і його аналізу після повернення. Такі датчики дозволяють моніторити навколишнє середовищі не тільки якісно (зафіксувати факт руху), але і кількісно (виміряти швидкість руху). Ця область досить велика, тому основну увагу приділено LiDAR-датчикам (Light Detecting and Ranging - LiDAR), що є основою для активних зондувальних систем. Цей тип датчика вимірює відстань до цілі шляхом вимірювання відбитих від об'єкта лазерних імпульсів. Якщо датчик PIR лише виявить рух в межах свого діапазону, LiDAR здатний вимірювати кількісні характеристики цього руху. В даний час широко використовується в сільському господарстві, автоматизованих і самохідних транспортних засобах, робототехніці, при спостереженнях і дослідженнях навколишнього середовища. Цей тип активних вимірювальних пристроїв здатний аналізувати об'єкти будь-якого типу. Вони використовуються для аналізу газів, атмосфери, хмарних утворень і композицій, частинок, швидкості рухомих об'єктів і т. д.

LiDAR - активна сенсорна технологія, побудована на основі лазера. Коли лазерний промінь падає в об'єкт, якась його частина відбивається і повертається назад до випромінювача LiDAR. Використовувані лазери зазвичай мають довжину хвилі від 600 до 1000 нм і відносно недорогі. Їх потужність обмежена з техніки безпеки, щоб запобігти пошкодженню очей. Деякі датчики LiDAR працюють в діапазоні 1550 нм, оскільки ця довжина хвилі не сприймається людським оком, що робить їх нешкідливими навіть за високої інтенсивності. Системи LiDAR здатні сканувати дуже великий простір і можуть працювати навіть із супутників. Така система посилає лазерні імпульси з частотою до 150 000 імпульсів в секунду і фіксує їх відображення масивом фотодіодів. Іноді проходження посилаються і відображених лазерних імпульсів регулюється системою обертових дзеркал, що формує тривимірне зображення навколишнього середовища. Для кожного переданого променевого імпульсу фіксується кут відображення, вимірюється час прольоту (Time of Flight - TOF) і місце розташування GPS.

Інші активні датчики працюють за тим же принципом, що і LiDAR. Кожен з них посилає сигнал, який, відбиваючись, повертається до датчика, що і створює зображення, ділянки яка спостерігається або вказує на те, що відбулася яка-небудь подія. Ці датчики набагато складніші, ніж прості пасивні датчики, споживають більше енергії, коштують дорожче і вимагають більшого простору при використанні.

2.1.6 Датчики MEMS

Промислове виробництво мікроелектромеханічних систем (Microelectromechanical systems - MEMS) почалося в 1980-х рр., Але вперше вони з'явилися ще в 1960-х рр., Коли компанією Kulite Semiconductor був представлений датчик тиску. По суті, це мініатюрні механічні структури, які взаємодіють з електронним блоком управління, як правило, розміри таких датчиків лежать в діапазоні від 1 до 100 мкм. На відміну від інших датчиків, згадані в цьому розділі, механічні структури MEMS можуть обертатися, розтягуватися, згинатися, змінювати форму, що і викликає зміни електричного сигналу. Цей сигнал, отриманий від окремого, конкретного датчика, фіксується і вимірюється.

MEMS-акселерометри і гіроскопи широко застосовуються в різних мобільних пристроях для позиціонування та відстеження руху, в таких, наприклад, як крокоміри і фітнес-трекери. Ці пристрої використовують п'єзоелектричний елемент MEMS, на якому у відповідь на рух виникає ЕРС. Гіроскопи виявляють обертальний рух, а акселерометри реагують на зміну лінійного руху. Зазвичай масивне тіло, закріплене в певній точці, при виникненні прискорення через пружину створює механічне напруження в MEMS, змінюючи його електричну ємність. Величина прискорення визначається при вимірюванні ємності в ланцюзі MEMS. Для роботи як гіроскопів, так і акселерометрів потрібно джерело живлення і операційний підсилювач для формування сигналу, для обробки цифровим процесором.

Подібні пристрої можуть бути виготовлені в дуже незначних розмірах. Наприклад, пристрій InvenSense MPU-6050 містить 6-осьової гіроскоп і акселерометр в корпусі розміром $4 \times 4 \times 1$ мм. Він споживає струм в 3,9 мА і, отже, є датчиком з низьким енергоспоживанням. Широке застосування даний пристрій знаходить у взаємодії з Arduino.

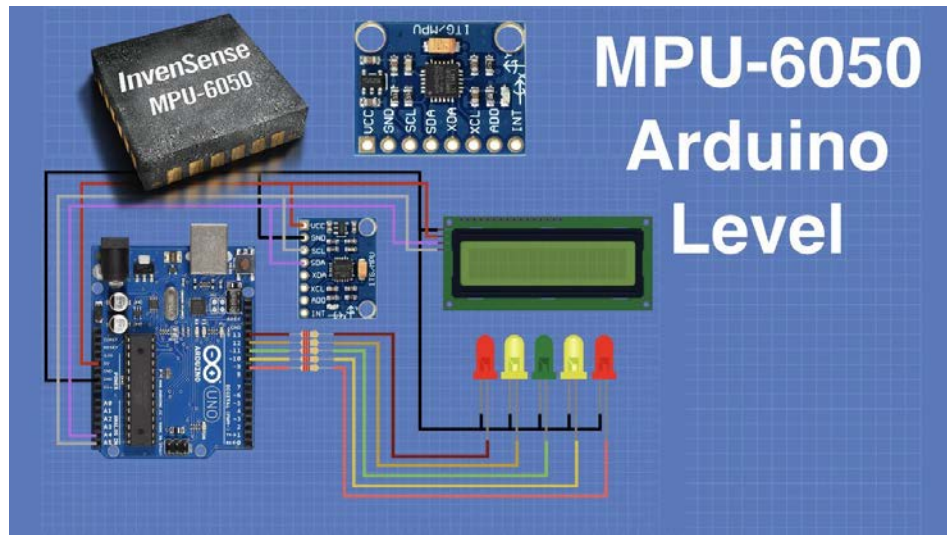


Рисунок 2.2 - Використання датчика InvenSense MPU-6050 з платформою Arduino

2.1.7 Датчики тиску та мікрофони MEMS

MEMS-пристрої можуть також використовуватися для фіксації звуку і вібрації. Цей тип MEMS-пристроїв має безпосереднє відношення до розглянутих раніше акселерометрів. При розгортанні систем IoT фіксація звуку і вібрації широко застосовується в їх промислових додатках для профілактичного і прогностичного обслуговування. Наприклад, в хімічній промисловості апарат, який обертає завантажувані реактиви для їх перемішування або центрифуг, які повинні бути лише горизонтально орієнтовані. Звуковий або вібраційний MEMS-блок зазвичай використовується для контролю за справністю і безпекою такого обладнання. Цьому типу датчиків потрібен аналого-цифровий перетворювач з досить

високою частотою дискретизації. Необхідний також підсилювач вихідного сигналу. Імпеданс MEMS-мікрофона становить близько кількох сотень Ом (що висуває особливі вимоги до використовуваного підсилювача). Мікрофон MEMS може бути аналоговим або цифровим. Аналоговий мікрофон підключається до джерела постійного струму і аналого-цифрового перетворювача. Цифровий мікрофон має вбудований АЦП в безпосередній близькості від детектора звуку. Це є перевагою при наявності перешкод від стільникових телефонів або Wi-Fi-пристроїв, які можуть вплинути на роботу АЦП [18].

Тензодатчики тиску знаходять застосування в широкому діапазоні IoT: від контролю за інфраструктурою розумних міст до промислового виробництва. Зазвичай вони використовуються для вимірювання тиску рідин і газів. Основою датчика є п'єзoeлектричний елемент, до якого організований фізичний доступ через діафрагму (отвір) в підкладці над або під елементом.

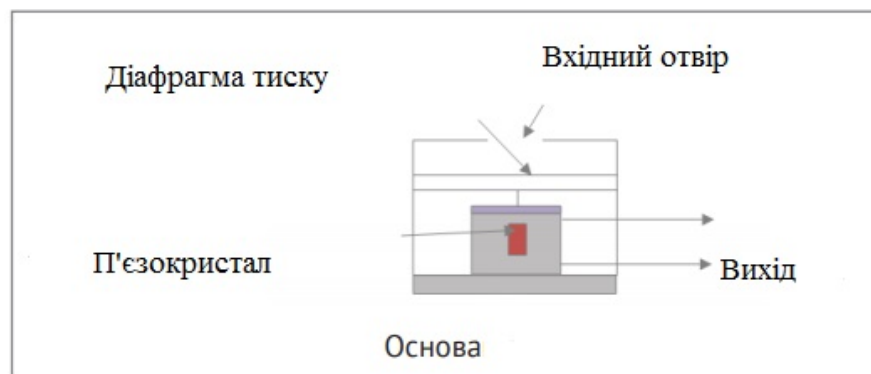


Рисунок 2.3 – Структура датчика тиску

Підкладка робиться гнучкою, що дозволяє п'єзоелементу під впливом тиску згинатися, змінюючи свій електричний опір.

2.1.8 «Інтелектуальні» точки IoT

До цього було розглянуто прості датчики, які просто повертали інформацію в двійковій або аналоговій формі, яку ще треба обробляти. Однак

існують пристрої і датчики IoT, які володіють значною обчислювальною потужністю і продуктивністю, достатньою для самостійного опрацювання даних і прийняття рішень. Інтелектуальні датчики мають в своєму складі такі пристрої, як відеокамери навіть цілі системи відеоспостереження. Такі датчики можуть виробляти значні обсяги обчислень завдяки вбудованим процесорам цифрового сигналу: ПЛІС (програмована логічна інтегральна схема) призначеним для користувача ASIC (application-specific integrated circuit - інтегральна схема спеціального призначення). Розглянемо таку структуру, як відеосистема. На відміну від простих датчиків, розглянутих раніше, відеосистеми набагато складніші, оскільки вимагають серйозного апаратного забезпечення, оптики і світлочутливих матриць зображення. Такі системи починаються з об'єктива, за допомогою якого здійснюється спостереження. об'єктив забезпечує не тільки різкість зображення, а й велику світлочутливість активного елементу. У сучасних системах бачення використовується один з двох типів чутливих елементів: прилади із зарядовим зв'язком (ПЗС) або комплементарні металооксидні напівпровідники (КМОП). Різницю між КМОП і ПЗС можна виразити як:

- ПЗС (CCD): сигнал від датчика до периферійного обладнання мікросхеми передається за допомогою аналого-цифрового перетворювача. Такі датчики створюють зображення з високою роздільною здатністю і малим шумом, але вони споживають значну потужність (100х від КМОП) і складніші у виготовленні.

- КМОП (CMOS): зображення будується з окремих пікселів (точок), кожен піксель формується окремим транзистором, тобто кожен піксель зчитується окремо. КМОП більш сприйнятливий до шуму, але енергетично економічний. Більшість відеодатчиків, представлених на сучасному ринку, побудована за КМОП-технологією. Такий датчик вбудований в кремнієву підкладку і виглядає як двовимірна матриця транзисторів, розташованих рядами і стовпцями. Кожний осередок такої матриці складається з трьох фотодіодів для трьох кольорів - червоного, зеленого і синього. Кожен фотодіод

забезпечений мікролінзою, яка фокусує випадкові промені певного кольору, послаблюючи інші [18]. Ці лінзи далеко не ідеальні, в них виникає хроматична аберація, тобто різні довжини хвиль заломлюються з різною швидкістю, що призводить до розмиття зображення. Лінзи можуть також викликати спотворення зображення внаслідок подушкоподібних спотворень.

2.1.9 Пристрої введення - виведення. Поєднання, «злиття» датчиків

Існує ще безліч типів датчиків, розгляд яких не проводиться в цьому розділі. Це різні газові аналізатори, датчики вологості, датчики радіоактивного випромінювання, датчики диму, ультразвукові датчики і т. д. Ці пристрої відправляють постійний потік даних на центральний пристрій або в хмару. IoT будується на основі двонаправлених систем. Вхідні дані можуть передаватися в кінцеву точку з хмари, або, навпаки, дані можуть бути відправлені кінцевою точкою іншим користувачам хмари.

Вихідні пристрої в екосистемі IoT можуть бути практично будь-якими: від простого світлодіода до повноцінної відеосистеми. До інших типів вихідних сигналів відносяться виконуючі механізми, крокові двигуни, гучномовці та аудіосистеми, промислові клапани і т. д. Ці пристрої потребують різних систем управління різної складності. Залежно від типу виходу та використовуваного варіанту, також слід очікувати, що велика частина контролю і управління повинна проводитися безпосередньо поблизу пристрою (на противагу повного контролю в хмарі). Наприклад, відеосистема може передавати дані хмарних провайдерів, але для цього потрібно обладнання виведення і буферизації. У загальному випадку системам виведення потрібні значні обсяги електроенергії для її перетворення в механічний рух, теплову енергію або в світло. Наприклад, невеликий соленоїд для управління потоком рідини або газу при напрузі живлення 9-24В споживатиме струм приблизно в 100 мА, а промислові соленоїди працюють від напруги в сотні вольт.

До всіх сенсорних пристроїв, описаним в цьому розділі, може бути застосована концепція «злиття» датчиків. Це процес об'єднання декількох різних датчиків з метою отримання більшого обсягу інформації, ніж може забезпечити один датчик. У просторі IoT це важливо, оскільки, наприклад, одиничний тепловий датчик поняття не має про те, що саме викликає швидку зміну температури. Але в поєднанні з іншими датчиками, наприклад, датчиками PIR, що фіксують рух і інтенсивність освітленості, система IoT може зрозуміти, що в певній галузі зібралася велика кількість людей і яскраво світить сонце, на цій підставі вона може прийняти рішення, яке необхідне. На основі більшої кількості даних від більшої кількості датчиків, відповідно корельованих в часі, система може приймати більш зважені рішення. Це одна з причин того, що кількість датчиків, поміщених в хмару IoT, зростає, викликаючи зростання обсягів даних. Датчики стають дешевшими, легше інтегруються, і на прикладі TISensorTag легко бачити, як комбінація датчиків полегшує спільне бачення. Існує два режими злиття датчиків: 1) централізований - дані передаються в центральний офіс, де і відбувається їх злиття (приклад - хмарні технології); 2) децентралізований: кореляція даних безпосередньо в датчику (або поруч з ним). В основі кореляції даних датчика лежить центральна гранична теорема, на підставі якої два незалежних вимірювання об'єднуються з урахуванням їх дисперсій (відхилень від норми), щоб отримати третє значення [18]. Тобто, це просто розрахунок середньозваженого значення перших двох величин. Іншими методами злиття датчиків є фільтри Калмана і Байєсовські мережі.

2.2 Технологія LTE. Загальні поняття, архітектура базової мережі

Мережі мобільного зв'язку пройшли складний шлях еволюційного розвитку, на протязі якого надавали абонентам можливість обмінюватися інформацією на віддалі. З роками різновид трафіку, а разом із тим, вимоги до пропускної здатності змінювалися, вимагаючи при цьому удосконалення

мереж для забезпечення необхідної якості обслуговування з кінця в кінець. На сьогоднішній день останнім поколінням мереж мобільного зв'язку, що впроваджується в Україні є LTE.

LTE (Long Term Evolution - розвиток в тривалій перспективі) - методика побудови безпроводних мереж зв'язку, заснована в рамках плану партнерства в розробці мереж 3 покоління 3GPP (3G Partnership Project).

Мережа LTE складається з двох найважливіших компонентів мережі радіодоступу E-UTRAN і базової мережі SAE (System Architecture Evolution) (рис. 2.4).

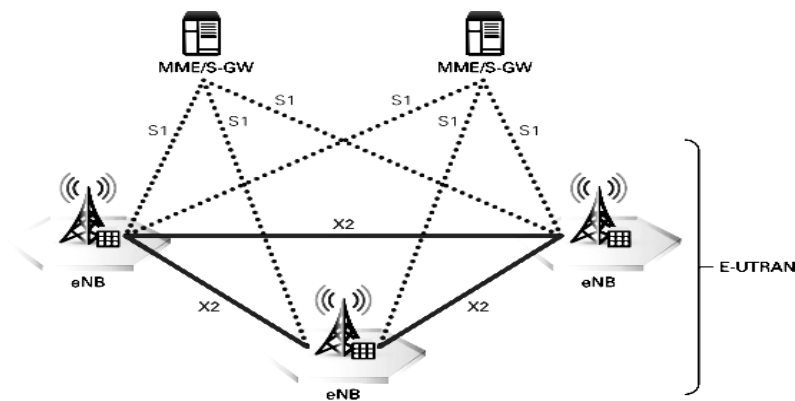


Рисунок 2.4 – З'єднання функціональних вузлів мережі радіодоступу

Основні вимоги до мережі SAE: максимально можливе спрощення структури мережі і виключення дублюючих функцій мережевих протоколів, характерних для системи UMTS.

Мережа радіодоступу E-UTRAN складається з базових станцій eNB (evolved Node B). Базові станції eNB є елементами повнозв'язної E-UTRAN і з'єднані між собою за принципом “кожен з кожним” за допомогою інтерфейсу X2. Інтерфейс X2 підтримує хендовер мобільного терміналу в стані LTE_ACTIVE. Кожна базова станція має інтерфейс S1 з базовою мережею SAE, побудованої за принципом комутації пакетів.

Базова мережа SAE, іноді звана мережею EPC (Evolved Packet Core), містить вузли MME і UPE, що складаються з логічних елементів MME і UPE. Логічний елемент MME (Mobility Management Entity) відповідає за вирішення

завдань управління мобільністю абонентського терміналу і взаємодіє з базовими станціями eNB мережі E-UTRAN за допомогою протоколів площини управління C-plane (інтерфейс S1-C). Логічний елемент UPE (User Plane Entity) відповідає за передачу даних користувачів відповідно до протоколів площини користувача U-plane і взаємодіє з eNB допомогою інтерфейсу S1-U.

Архітектура базової мережі SAE дозволяє здійснювати подальшу еволюцію мереж 3G у напрямі отримання вищих швидкостей передачі даних, забезпечення низьких затримок, а також оптимізації передачі даних на основі різноманітних технологій радіодоступу. Основною відмінністю базової мережі SAE від базової мережі системи UMTS являється максимально спрощена структура і відсутність дублюючих функцій мережевих протоколів. В основу побудови базової мережі SAE покладена концепція AIPN (All over IP Network – “усе через IP”) і та обставина, що доступ до базової мережі SAE може здійснюватися як через мережі радіодоступу другого і третього поколінь (наприклад, мережі UTRAN, GERAN), так і через мережі, не стандартизовані проектом 3GPP (мережі non-3GPP), наприклад, мережі IEEE: Wi-Fi, WiMAX, а також через мережі, що використовують провідні IP-технології (наприклад, ADSL+, FTTH та ін.) [3].

Еталонна архітектура базової мережі SAE із зазначенням інтерфейсів взаємодії із зовнішніми мережами показана на рис. 1.11. Згідно з нею функції протоколів площини управління вузла обслуговування абонентів GPRS – SGSN (Serving GPRS Support Node) мережі UMTS стають функціями елементу управління мобільністю MME. Функції контроллера RNC, які не виконує БС eNB мережі E-UTRAN, і функції протоколів площини користувача вузла SGSN та шлюзу з зовнішніми мережами – GGSN (Gateway GPRS Support Node) реалізуються модулем UPE і шлюзовим вузлом прив'язки 3GPP Anchor мережі SAE. Цей вузол призначений для приєднання мереж 2G/3G до мережі LTE. До складу SAE входить також шлюзовий вузол прив'язки SAE Anchor, який служить для приєднання до мережі SAE мереж стандартів 3GPP (GSM/UMTS) і стандартів non-3GPP. Обидва вузли прив'язки утворюють єдиний вузол

прив'язки IASA (Inter Access System Anchor) для приєднання зовнішніх IP-мереж.

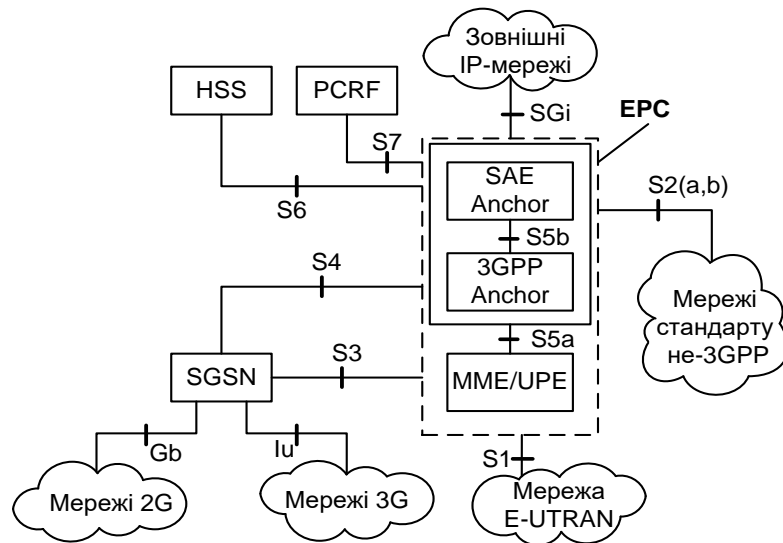


Рисунок 2.5 – Еталонна архітектура базової мережі SAE

PCRF (Policy and Charging Rules Function) – елемент мережі, що відповідає за управління нарахуванням плати за надані послуги зв'язку, а також за якість з'єднань у відповідності з заданими конкретному абоненту характеристиками.

HSS (Home Subscriber Server) – сервер абонентських даних мережі стільникового зв'язку стандарту LTE. Являє собою велику базу даних і призначений для зберігання даних про абонентів. HSS фактично замінює набір реєстрів (VLR, HLR, AUC, EIR), які використовувалися в мережах 2G і 3G.

2.2.1 Категорії LTE для IoT

Популярність і поширеність пристроїв IoT привела до появи різних версій малопотужних широкосмугових мереж (LPWAN), таких як SigFox, LoRa і тд. (ось чому LPWAN так важливий в реалізації IoT). Існують також більш традиційні варіанти стільникового зв'язку, такі як мережі 4G і LTE, для IoT потрібен стандарт, який призначений для задоволення вимог і завдань

типу low-power / long-range (низьке енергоспоживання / висока дальність дії), при забезпеченні необхідних вимог швидкості передачі трафіку.

Cat-1. На даний момент Cat-1 є єдиною повністю доступною опцією стільникового зв'язку IoT і являє собою перший крок до підключення пристроїв IoT з використанням існуючих мереж LTE. Хоча його продуктивність трохи поступається мереж 3G, на сьогоднішній день це - відмінний варіант для існуючих додатків IoT, що використовують для роботи інтерфейс браузера або голосове управління. Його основною перевагою і привабливістю для розробників є те, що Cat-1 вже стандартизовано, і, що більш важливо, - доступний для використання існуючими пристроями.

Cat-0. Для успіху мереж IoT на основі LTE вони повинні мати такі характеристики:

- 1) Тривалий час автономної роботи.
- 2) Низьку собівартість.
- 3) Підтримку великого обсягу доступних пристроїв.
- 4) Посилене покриття (наприклад, - високе проникнення сигналу через стіни).
- 5) Високу дальність роботи і широке охоплення сигналу.

Cat-0 був представлений в релізі 12 і був першою архітектурою поза Cat-1, орієнтованій на потреби IoT. Заснований на IP і працює в ліцензованому спектрі. Істотна відмінність полягає в пікових швидкостях передачі по висхідній лінії і нисхідній лінії зв'язку (по 1 Мбіт / с), на відміну від Cat-1 зі швидкістю 10 Мбіт / для нисхідної лінії зв'язку і 5 Мбіт / с для висхідної лінії зв'язку. Хоча смуга пропускання каналу залишається 20 МГц, зниження швидкості передачі даних значно спрощує проектування і знижує вартість [5]. Крім того, перехід від повного дуплексу до напівдуплексної архітектури додатково покращує вартість і потужність.

Стандарт Cat-0 є оптимальним у своєму роді, тому що не вимагає обладнання для забезпечення високих швидкостей передачі даних, як для Cat-1 (подвійний ланцюг приймача і двобічний фільтр). І якщо Cat-1 готова

замінити собою 3G, то Cat-0 встановлює основу для Cat-M, щоб стати дешевою заміною 2G.

Зазвичай рівень NAS стека LTE не грає великої ролі в обслуговуванні UE. У Cat-0 архітектори 3GPP змінили можливості NAS, щоб допомогти в енергосбереженні на рівні UE. Cat-0 вводить режим енергозбереження (PSM) в специфікацію LTE для рішень з жорсткими обмеженнями по потужності. У традиційній будові LTE-модем залишається підключеним до стільникової мережі, споживаючи енергію, незалежно від того, активно пристрій чи ні. Щоб уникнути перевищення енергоспоживання пристрій може відключитися від мережі і деасоціюватись з мережею, але це може призвести до повторного підключення та пошуку протягом 15-30 с. PSM дозволяє модему увійти в стан сну, коли він не активно передає дані, але може швидко при цьому прокидатися. Він робить це, періодично виконуючи оновлення зони відстеження (TAU) і залишаючись доступним через пейджинг протягом програмованого періоду часу. По суті, пристрій IoT може входити в період бездіяльності на 24 години і прокидатися один раз в день, щоб передавати дані з датчика, весь час залишаючись на зв'язку. Всі налаштування цих окремих таймерів керуються за допомогою змін на рівні NAS і відносно прості в установці, якщо встановлюються два таймера:

T3324 - час, яке UE залишається в режимі очікування, якщо додаток пристрою IoT не впевнений, що є очікує повідомлення, він может зменшити значення таймера;

T3412 - як тільки таймер T3324 закінчиться, пристрій увійде в PSM T3412. Пристрій буде перебувати в найбільш можливому станні енергоспоживання. Він не може брати участь в пейджингу або мережевій сигналізації. Пристрій, однак, підтримує всі стани UE (несучі, ідентифікатори). Максимальний час - 12,1 днів.

Cat-M1 / Cat-M / LTE-M Cat-M (офіційно відомий як LTE Cat-M1) часто розглядається як друге покоління LTE-чипів, створених спеціально для

додатків IoT. Обмежуючи максимальну робочу частоту до 1,4 МГц (на відміну від 20 МГц для Cat-0).

Cat-M1, поширений як вдосконалені комунікації машинного типу (а іноді і просто званий Cat-M), був розроблений для випадків роботи IoT і M2M з недорогими, малопотужними розширеннями з поліпшеними діапазонами. Cat-M1 був випущений в релізі 3GPP версії 13, він являє собою оптимізовану версію архітектури Cat-0. Єдина відмінність полягає в тому, що ширина смуги каналу зменшилася з 20 МГц до 1,4 МГц. Скорочення смуги пропускання каналу з точки зору обладнання послаблює тимчасові обмеження, потужність і схему. Витрати також знижуються на 33% в порівнянні з Cat-0, оскільки схема не потрібно управляти широким спектром в 20 МГц. Іншою значною зміною є потужність передачі, яка зменшується з 23 дБ до 20 дБ. Зменшення потужності передачі на 50% знижує витрати, усуваючи необхідність зовнішнього підсилювача потужності і дозволяючи створювати одночипову конструкцію. Навіть при зменшенні потужності передачі покриття поліпшується на +20 дБ. Cat-M1 успадковує інші більш пізні протоколи 3GPP, засновані на IP-адресі. Хоча це не архітектура MIMO, пропускна здатність може становити 375 Кбіт/с або 1 Мбіт/с як по висхідній лінії, так і по низхідній лінії зв'язку. Архітектура забезпечує мобільність і може застосовуватися для взаємодії з автомобілем або V2V. Ширина смуги пропускання досить велика, щоб забезпечити голосовий зв'язок, використовуючи VoLTE [7]. У мережі Cat-M1 допускається застосування декількох пристроїв з використанням традиційного алгоритму SC-FDMA. Cat-M1 також використовує більш складні функції, такі як стрибкоподібна перебудова частоти і турбокодування.

Cat-M відмінно пристосований для таких додатків LPWAN, як «інтелектуальний облік», коли потрібно передавати тільки невеликі обсяги даних. Але справжньою і найголовнішою перевагою Cat-M над іншими варіантами є те, що Cat-M сумісний з існуючою мережею LTE. Для існуючих стільникових операторів це - чудова новина, оскільки їм не потрібно витрачати гроші на будівництво нових антен і передавальних станцій. Досить просто

завантажити відповідне програмне забезпечення, поки IoT-пристрої працюють в своїй мережі LTE.

NB-IoT / Cat-M2NB-IoT (також відомий як Cat-M2) функціонально аналогічний Cat-M, однак використовує іншу технологію (DSSS-модуляція замість LTE-радіохвиль). А це означає, що NB-IoT не працює в смузі LTE, що, в свою чергу, тягне для провайдерів додаткові фінансові витрати для розгортання мереж NB-IoT «з нуля». Проте, стандарт NB-IoT просувають як потенційно менш дорогий варіант, оскільки він не має необхідності в шлюзі, на відміну від інших інфраструктур, де мережа шлюзів об'єднує дані з передавачів, які потім відправляються на основний сервер (ось, до речі, просте пояснення функції шлюзів). У випадку з NB-IoT, дані з датчиків відправляються безпосередньо на головний сервер [7].

2.2.2 Інші безпроводові технології для IoT

З'єднання пристрою IoT з інтернетом відрізняється від типових стільникових пристроїв на споживчому ринку, таких як смартфон. Смартфон в основному отримує інформацію з інтернету по нисхідній лінії зв'язку. Часто це великі дані і потокові дані в реальному часі, такі як відео та музика. При розгортанні IoT дані можуть бути дуже розсердженими і надходити короткими чергами. Найчастіше більшість даних буде генеруватися пристроєм і переміщатися по висхідній лінії. Розвиток LTE просувався в побудові стільникового інфраструктури та бізнес-моділ, орієнтованої і оптимізованої для мобільних споживачів. Новий крок полягає в тому, щоб задовольнити виробників даних IoT, оскільки це збільшить кількість споживачів. Далі розглядаються низькопотужні широкосмугові мережі (LPWAN). Вони підходять для розгортання IoT, але функції розрізняються.

Технологія LoRa. Розробники LoRa Alliance вважають, що технологія LoRa має значні переваги перед WiFi і стільниковими мережами, завдяки можливості розгортання міжмашинного з'єднання (Machine-to-Machine,

M2M) на відстань до 20 км при швидкості до 50 Кбіт / с, а також має мінімальне споживання електроенергії, що забезпечує кілька років автономної роботи на одному акумуляторі типу АА. Масштаб застосувань даної технології великий: від домашньої автоматизації та інтернету речей до промисловості і розумних міст. LoRa є наступним етапом розвитку LPWAN рішення, яке було розроблено і запатентовано Корпорацією Semtech. Суть технології зводиться до варіації лінійної частотної модуляції (Chirp Spread Spectrum, CSS). Технологія використовує кодування даних широкосмуговими імпульсами з частотами, які зменшуються або збільшуються на деякому часовому інтервалі. Таке рішення дозволяє приймачу бути стійким до відхилень частоти від номінального значення і спрощує вимоги до тактового генератора, тим самим дозволяє використовувати недорогі кварцові резонатори. Система використовує пряму корекцію помилок (Forward Error Correction, FEC) і працює в субгігагерцовому діапазоні частот: 169, 433 і 915 МГц в США, а в Європі - в діапазоні 868 МГц. Найчастіше застосовуються робочі частоти 868 і 915 МГц. Також, внаслідок високого рівня зовнішнього впливу, обмежено використовується робочий діапазон 2.4 МГц. Згідно зі специфікацією, LoRa (а також SIGFOX) використовує циклічно єдиний варіант передачі, який обмежує швидкість створення повідомлень. Проте, за рахунок підтримки декількох каналів, LoRa дозволяє кінцевим вузлам брати участь в процедурах обміну даними за допомогою зміни частоти несучої при дотриманні безмитного ліміту циклу в кожному каналі. Вибір швидкості передачі даних - це компроміс між зоною покриття і обсягом даних, повідомлення з різними швидкостями передачі даних не заважають один одному. Швидкість передачі даних LoRa знаходиться в діапазоні від 0,3 до 50 Кбіт / с [15]. Щоб максимізувати час автономної роботи кінцевих пристроїв і загальну пропускну здатність мережі, мережева інфраструктура LoRa може управляти швидкістю передачі даних для кожного приладу індивідуально за допомогою адаптивної швидкості передачі даних. У той час як реалізація LoRa є закритою, інша частина стека протоколів, відомий як LoRaWAN,

залишається відкритою, і її розвиток здійснюється LoRa Alliance, очолюваний IBM. По перспективах використання для IoT в Україні дана технологія не має позитивних прогнозів, оскільки на даний момент вона не є широко розповсюджена.

Технологія SigFox. SIGFOX є приватною компанією, яка спрямована на створення всесвітньої мережі, спеціально розробленої для пристроїв (Internet of Things, IoT). Технологія дозволяє здійснювати передачу даних на великі відстані, при малій потужності передавального пристрою і малої ємності батареї. Мережа відмінно підходить для простих і автономних пристроїв, які посилають невелику кількість даних в цю мережу. При цьому в межах міста кількість пристроїв, а відповідно й даних є величезною, що одразу ставить під питання доцільність застосування технології для «розумного міста». Мережа SIGFOX схожа на стільниковий інфраструктуру (GSM- і GPRS-3G-4G), але є більш енергоефективною і в той же час менш витратною. SIGFOX використовує ультра-вузьку смугу частот (Ultra Narrow Band, UNB) на основі радіо технології для підключення пристроїв до глобальної мережі. Використання UNB - ключовий фактор у забезпеченні дуже низького рівня потужності передавача, який буде використовуватися під час стану підтримки з'єднання надійних даних. Мережа працює в існуючих неліцензованих діапазонах (The industrial, scientific and medical, ISM) в глобальному масштабі і співіснує в цих частотах з іншими радіо-технологіями без проблеми перекриття мережі або проблеми пропускної здатності. В Європі широко використовується діапазон 868,8 МГц (як визначено в ETSI і CEPT), а в США 915 МГц (як визначено FCC). Зона охоплення мережі SIGFOX становить близько 30-50 км в сільській місцевості і в міських районах. Зазвичай, де більше труднощів і шуму, діапазон знижується в межах від 3 до 10 км. SIGFOX з ETSI визначили, що один пристрій може в день відправити до 140 повідомлень, при цьому одне повідомлення повинно містити максимально 12 байт корисної інформації. Було встановлено, що цих 12 байт покривають потреби пристроїв, які передають такі дані, як коефіцієнт споживання енергії,

місце розташування пристрою, сигнал тривоги і інші основні типи сенсорної інформації. Також можливо передавати до 4 повідомлень, що складаються з 8 байт корисної інформації на добу в сторону кожного пристрою. Ці 8 байт дозволяють відправити дані конфігурації, а також оптимізувати термін служби акумулятора. Цього буває достатньо в разі, якщо не потрібно повноцінна двостороння зв'язок. Пристрій, щоб отримати повідомлення, має зробити запит з сервера, на якому заздалегідь має бути запрограмовано певний час, або конкретна подія. Технологія використовує шифрування AES з HMACs з закритим ключем, який вбудований в прилад, плюс деякий порядковий номер. Технологія SIGFOX спрямована на низьку вартість пристроїв, де потрібно широка зона покриття. Є цілий ряд додатків, які потребують цю технологію безпроводового зв'язку. Області, в яких можуть бути використані мережі SIGFOX включають в себе:

- дім та споживчі товари;
- енергетичні комунікації - зокрема, інтелектуальний облік;
- охорона здоров'я - зокрема, додатки mHealth;
- транспорт - включаючи в себе технічне управління;
- віддалений моніторинг та контроль;
- роздрібна точка продажу, зберігання оновлень і т. д.;
- безпека.

Стандарт має ряд переваг в порівнянні з іншими базовими технологіями LPWAN мереж [15]. Це велика зона покриття; висока проникаюча здатність; до 20 років роботи сенсора від 2-х батарей. Як і всі технології сучасного світу, енергоефективна мережа SIGFOX, на жаль, також має і негативні характеристики:

- низька швидкість передачі даних;
- залежність від стільникової інфраструктури;
- обмежена стійкість;
- немає мереж SIGFOX в Україні.

З огляду на вищезазначений ряд мінусів ця технологія є утопічним варіантом для застосування в рамках IoT та «розумного міста» в Україні, в першу чергу через економічний аспект- розгортання величезної кількості мереж за даною технологією потребує величезних коштів, низька швидкість передачі даних не забезпечить вимоги мегаполісів, які є основними претендентами в Україні на сфери реалізації «розумного міста». В даний час технологія охоплює Францію, Іспанію, багато міст Великобританії, Нідерландів, Бельгії, Португалії, Ірландії, Люксембурзі, багато великих європейських міст, і деякі міста в США, Австралії, Новій Зеландії.

Технологія LTE. Згідно з даними дослідницьких центрів, в найближчі роки технологія LTE буде розвиватись найбільш швидкими темпами і стане, ймовірно, основним варіантом безпроводової передачі даних «Інтернету речей» (Internet of Things, IoT) через мережі стільникового зв'язку, оскільки конкурентні технології для створення IoT або просто відсутні в Україні або мають ряд недоліків з економічного та юридичного ракурсів- закупка нового обладнання та принцип технологічної нейтральності. Найсерйозніший конкурент- NB-IoT, як вже було вказано раніше не працює в смузі LTE, що, в свою чергу, тягне для провайдерів додаткові фінансові витрати для розгортання мереж NB-IoT «з нуля». На сьогодні оператори стільникового зв'язку мають досить суттєву карту покриття на всій території України, порівняно з іншими наявними технологіями. Рис.2.7 – 2.9.

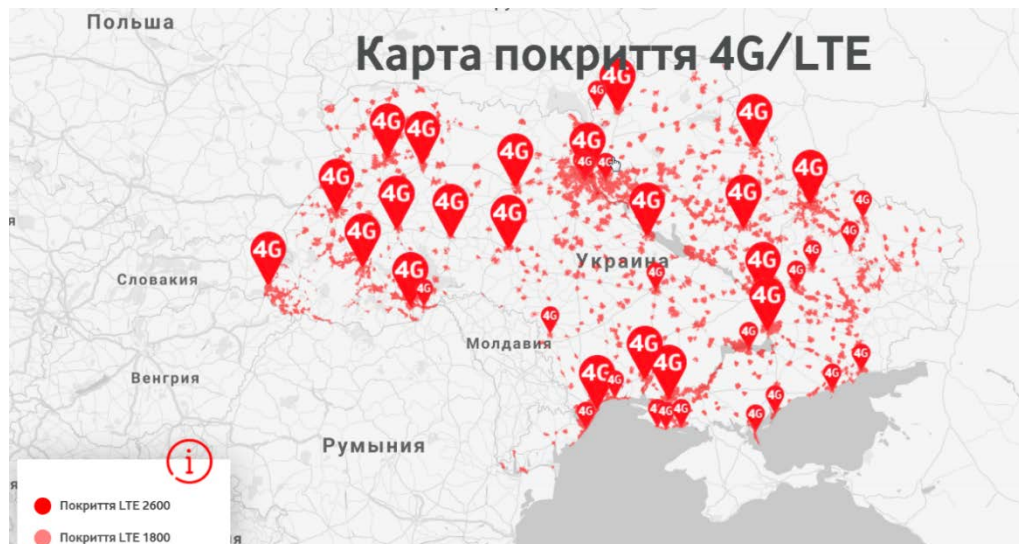


Рисунок 2.7 – Покриття оператора Vodafone за технологією LTE в Україні станом на листопад 2019 року.

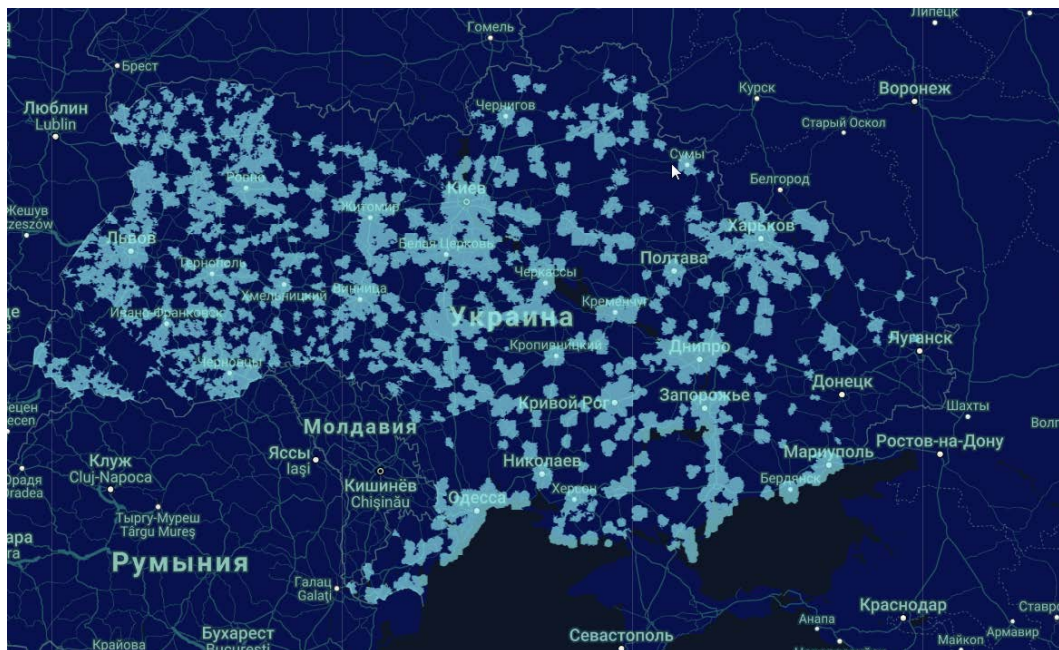


Рисунок 2.8 – Покриття оператора Київстар за технологією LTE в Україні станом на листопад 2019 року.

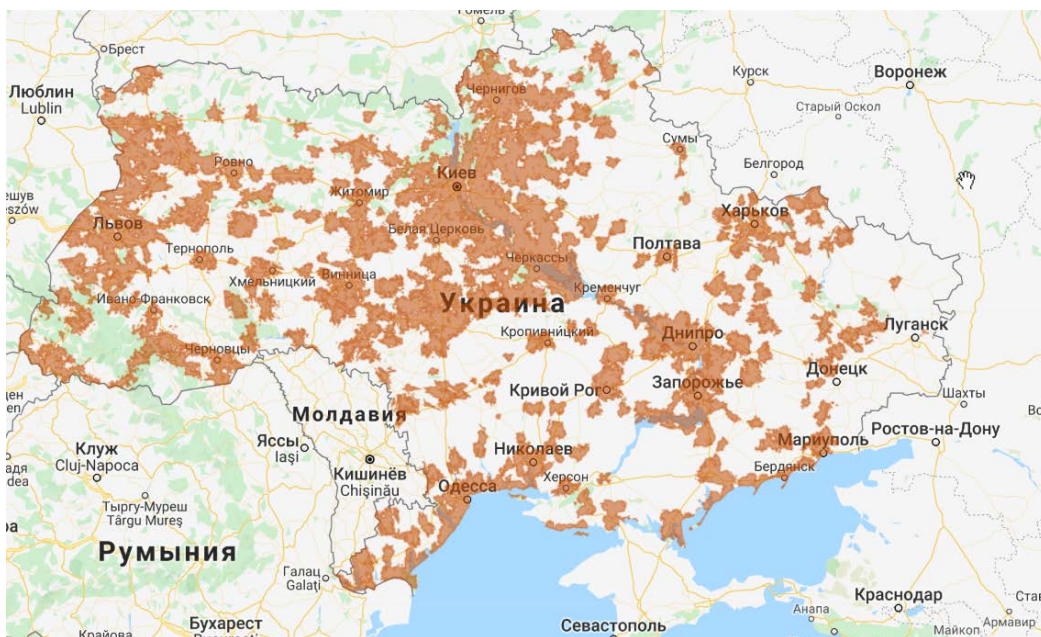


Рисунок 2.9 – Покриття оператора Lifecell за технологією LTE в Україні станом на листопад 2019 року.

Технологія LTE є гнучким інтерфейсом. Основні параметри стандарту LTE наведені у табл. 2.1. У стандарті LTE Rel.8 визначена швидкість до 300 Мбіт/с, максимальна затримка у безпроводовій мережі - менше 5 мс, значно підвищена спектральна ефективність, а також розроблена нова архітектура безпроводової мережі, яка дозволяє значно спростити її структуру. Технологія LTE підтримує і частотний дуплекс (FDD), і часовий дуплекс (TDD), а також орієнтована як на природну взаємодію з більш простими мережами 3GPP2, такими як TD-SCDMA і WCDMA/HSPA, так і на взаємодію з більш складними мережами, такими як CDMA 2000.

Таблиця 2.1– Основні параметри стандарту LTE

Параметр	3GPP-LTE (E-UTRAN)
Тип мережі	UTRAN, рухаючись у напрямку до All-IP Evolved UTRA CN с IMS
Робочий діапазон частот	Нові частотні діапазони (близько 2 ГГц)

Продовження табл. 2.1

Бітові швидкості DL UL	100 Мбіт/с (MIMO 2TX x 2RX) 50 Мбіт/с
Ширина смуги радіоканалу	1,25 – 20 МГц
Радіус стільника	5 км
Ємність стільника (кількість обслуг.абонентів)	Більше 200 користувачів при смугі 5 МГц Більше 400 користувачів при більшій смугі
Спектральна ефективність	5 біт/сек/Гц
Мобільність: Швидкість переміщення Перехід з стільника до стільника	До 250 Км/год Гнучкість переходу з стільника до стільника
Успадковані стандарти	GSM/GPRS/EGPRS/UMTS/HSPA
Параметри MIMO: DL UL Кількість кодових слів	2TX x 2RX 2TX x 2RX 2
Стандартизація	RAN (PHY + MAC) + CN
Роумінг	Автоматичний (розроблений для GSM/UMTS)

LTE підтримує смуги частот від 1.25 МГц до 20 МГц та обидва режими дуплекса - FDD та TDD для роботи у парних та непарних спектрах частот. У технології LTE для передачі у прямому каналі використовується метод OFDM модуляції, а у зворотному каналі - метод SC-FDMA [3].

Для збільшення об'єму передаючої інформації та підвищення надійності каналу зв'язку у LTE передбачені режим прийому на 2 антени (Antenna Diversity) по методу сумування максимального відношення - MRC та метод багатоантенної передачі MIMO, який дозволяє в умовах багаточасового розповсюдження збільшувати системну швидкість даних.

Для одночасної передачі однієї і тієї ж інформації безлічі користувачів LTE також дозволяє організувати режим мовлення, при якому мережу LTE працює як одночастотна мережу синхронного мовлення - DL-SFN, що дозволяє економно розпорядитися частотним ресурсом. За рахунок координації рівнів сигналів, які передаються в зворотному каналі передавачами абонентських терміналів, які розташовуються в різних осередках, можуть бути істотно зменшені рівні інтерференції між осередками. Також важливі наступні параметри:

1. Час затримки передачі пакетів даних на рівні протоколів управління (control-plane latency)

- час переходу мобільного терміналу з непрацюючого стану IDNE (Release 6) в активний стан CELL_DCH (Release 6) менше 100 мс.

- час переходу мобільного терміналу з режиму очікування CELL_DCH (Release 6) в активний стан IDNE (Release 6) менше 50 мс.

2. Час затримки передачі пакетів даних користувача (user plane latency): менше 5 мс в активному стані мобільного терміналу при завантаженні IP-пакетів мінімальних розмірів.

3. Технологія мобільного мовлення (Multimedia Broadcast Multicast Service -MBMS):

- зниження технологічної складності АТ – використання однакових видів модуляції, кодування, множинного доступу і однакових смуг каналу в мережі для режимів Multicast та Unicast.

- одночасне представлення користувачу послуг мовлення MBMS та передачі мови;

- доступність для технології мовлення парних і непарних спектральних смуг

4. Гнучкість використання радіоспектру:

- використання адаптивних каналів з шириною спектра 1,4; 3; 5; 10; 15 та 20 МГц в лініях “вниз” та “вгору”;

– забезпечення гнучкості використання радіоспектру в режимі тільки в лінії “вниз” та в режимі в лініях “вниз” та “вгору”.

5. Сумісність мережі E-UTRAN та 3GPP.

Технологія NB-IoT. NB-IoT (англ. NarrowBand IoT - «вузькосмуговий інтернет речей»), він же стандарт LTE-Cat.M2, має ряд переваг таких, як широка зона охоплення, швидка модернізація існуючої мережі, низьке енергоспоживання, яке гарантуватиме 10-річний термін служби батареї, низьку вартість терміналу, підвищену надійність і високу мережу операторського класу безпеки. NB-IoT добре відповідає вимогам ринку LPWAN, дозволяючи операторам розширити цю нову область. NB-IoT дозволяє сучасним операторам працювати з традиційними напрямками IoT, такими як інтелектуальні системи обліку, відстеження, завдяки ультранизькій вартості, а також відкриває більше можливостей промисловості, наприклад, «розумне Місто». Технологія NB-IoT розглядає еволюцію від галузі стільникового зв'язку до Інтернету речей. Це безпроводовий вузькосмуговий різновид глобальних мереж з низьким енергоспоживанням, який в першу чергу призначений для додатків M2M. Стандарт NB-IoT був специфікований угодою 3GPP в Release 13 (LTEAdvanced Pro) і з 2016 року по теперішній час він проходить тестування. Порівнюючи властиві можливості NB-IoT з іншими технологіями LPWAN такими як, SIGFOX та LoRa, NB-IoT забезпечує більш високу продуктивність. Крім того, спостерігаючи за всіма технологіями з точки зору мережових інвестицій, сценаріїв покриття, трафіку вхідної та вихідної лінії зв'язку та надійності мережі, можна зробити висновок, що NB-IoT є досить підходящою технологією, якщо не враховувати юридичні та економічні аспекти. Відомо, що кілька операторів по всьому світу використовують смугу частот 900 МГц для GSM через його великі можливості покриття. Це можливо тому, що такі низькі смуги частот мають відмінні характеристики поширення, і це, як правило, покращує проникнення в приміщенні. Розгортання NB-IoT в смугах частот, таких як 700, 800 і 900 МГц є відмінним вибором, оскільки це досить велика екосистема в основному через

його підтримки з боку багатьох світових провідних операторів [16]. Дана технологія є чудовим рішенням для систем IoT, проте вимагає як і вищезначення додаткових економічних затрат, задля розгортання систем.

Аналізуючи доступні категорії для розгортання мереж IoT варто звернутись до існуючих даних, щодо того, які оператори вже використовують у світі які категорії. Дана географічна візуалізація представлена на рис. 2.6.

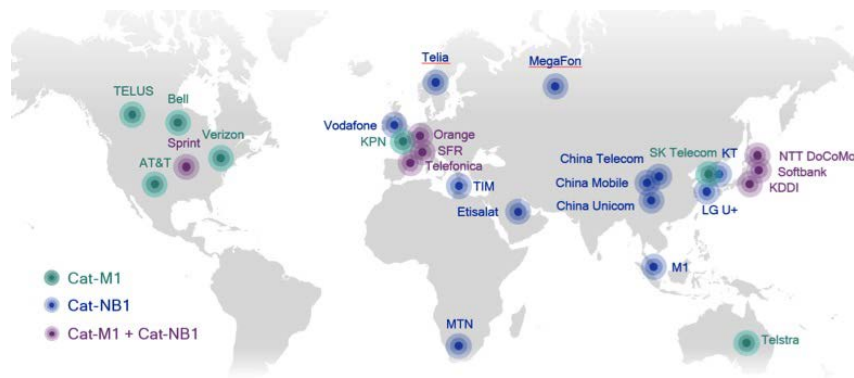


Рисунок 2.6 – Візуалізація географічного розподілу використання категорій для IoT

Як видно з наведеного вище рисунку на сьогодні у світі різні оператори використовують різні категорії LTE, оптимальність вибору залежить від конкретного випадку в кожній країні, враховуючи її особливості.

Висновки до розділу

1. Інтернет-речей (IoT) починається з джерел даних або виконавчих приладів, їх називають кінцевими точками, і вони, маючи вихід в Інтернет, можуть бути об'єднаними у одну мережу. При розгортанні мережі IoT необхідно враховувати безліч аспектів: вартість, опціональність, розміри, тривалість безаварійної роботи і точність вимірювання.

2. Вихідні пристрої в екосистемі IoT можуть бути практично будь-якими: від простого світлодіода до повноцінної відеосистеми. До всіх

сенсорних пристроїв, описаних в цьому розділі, може бути застосована концепція «злиття» датчиків. Це процес об'єднання декількох різних датчиків з метою отримання більшого обсягу інформації, ніж може забезпечити один датчик

3. Популярність і поширеність пристроїв IoT привела до появи різних версій малопотужних широкосмугових мереж (LPWAN), таких як SigFox, LoRa і тд. Для розгортання мереж IoT використовують також технології стільникового зв'язку, зокрема, технологію LTE, оскільки покриття найбільших операторів стільникових мереж є достатнім для реалізації концепту «розумних міст» в Україні.

3 СЦЕНАРІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ LTE ДЛЯ «РОЗУМНОГО МІСТА»

3.1 Перспективи розвитку мереж мобільного зв'язку в напрямку 4G/5G

Технології мереж стільниковго зв'язку пройшли складний еволюційний шлях, на протязі якого надавали абонентам можливість обмінюватися інформацією на віддалі. З часом різновид трафіку, а разом із тим, вимоги до пропускної здатності змінювалися, вимагаючи при цьому удосконалення мереж для забезпечення необхідної якості обслуговування з кінця в кінець.

Одним з перспективних і динамічних ринків послуг для мобільних операторів, може стати ринок послуг M2M або IoT сервіси. LTE-мережі мають ряд переваг, які вже в найближчому майбутньому приведуть до переходу M2M-користувачів від технологій 2G/3G до 4G. Швидкість передачі даних в мережах LTE, як відомо, в сотні разів вище, ніж в мережах 2G, і може забезпечити передачу відео високої чіткості, необхідну в системах громадської безпеки та ряді комерційних додатків. Іншою, мабуть, більш важливою перевагою мереж LTE є в 10 разів менші в порівнянні з GSM затримки відгуку (час, за який сигнал від пристрою M2M доходить до сервера через мережу мобільного оператора і повертається назад). Низькі затримки важливі для M2M-додатків, що працюють в реальному часі, для контролю чутливого обладнання, а також для систем сигналізації та управління промисловим обладнанням. Значною перевагою відносно мереж 2G/3G в умовах передачі даних з асиметричним трафіком в межах M2M в мережах TD-LTE завдяки можливості гнучкої зміни розподілу мережевих ресурсів за рахунок гнучкого використання числа тайм-слотів і відповідно, зміни симетричності трафіку в лінії вниз і вгору [12].

До переваг технології LTE також відносять більш низькі витрати на обслуговування M2M-мережі в перспективі. Завдяки тому, що технологія LTE

повністю заснована на комутації пакетів і працює по протоколу IP, мережі M2M на базі LTE простіші та дешевші в побудові, експлуатації та розширенні. Крім того, для мереж LTE специфіковані 44 частотні діапазони, вони мають більш високу спектральну ефективність в порівнянні з технологіями GSM і HSPA (GSM - 1-1,5 біт/с/Гц, HSPA - 2,2 біт/с/Гц, LTE - 5 біт/с/Гц). Всі ці особливості дозволяють знизити капітальні витрати і експлуатаційні витрати на мобільну мережу і, як наслідок, вартість передачі одного біта даних.

3.2. Особливості міжмашинної взаємодії в мережах LTE

Мережі LTE відрізняються високою масштабованістю по абонентській базі і впроваджуються сьогодні з підтримкою IPv6-адресації. Це дуже важлива характеристика, оскільки запас доступних публічних IPv4-адрес швидко скорочується, а кількість M2M-пристроїв, що працюють на основі LTE в Україні буде і далі постійно зростати, оскільки велика кількість нових гаджетів, що надходять на ринок, як правило, мають підтримку даної технології. Візуалізацію поділу ринку між M2M/IoT підключеннями за технологіями 2G, 3G, 4G з 2016 по 2020 рік представлено на рис. 3.1

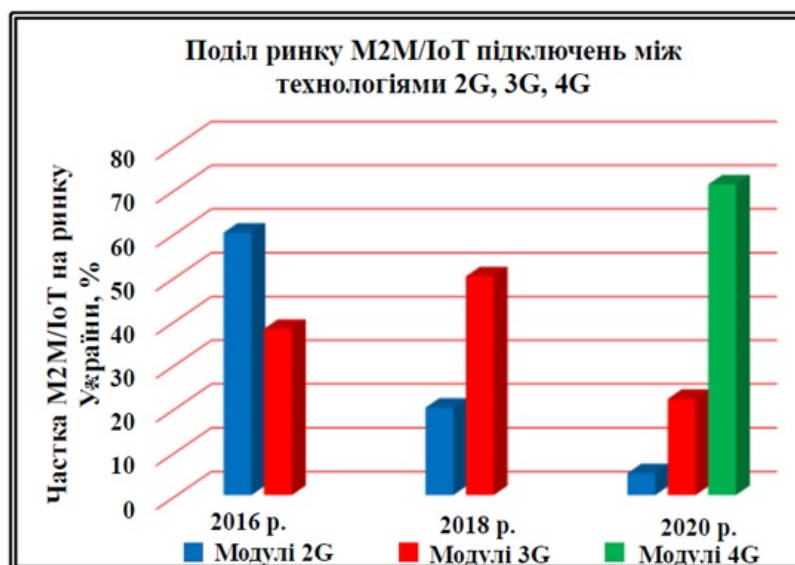


Рисунок 3.1 – Поділ ринку між M2M/IoT підключеннями за технологіями 2G, 3G, 4G.

Використання мереж LTE для взаємодії елементів M2M має принести операторам додаткові доходи і надати імпульс подальшого зростання інвестицій. Оператори безпроводного зв'язку оновлюють обладнання для того, щоб не відставати від провідних країн в розвитку мобільних мереж. Однак основною причиною, як збільшення швидкості передавання так і якості надання послуг, є зростаюча кількість пристроїв, що припадає на одну людину.

Базова станція для обслуговування користувачів та M2M/IoT пристроїв виділяє частотно-часові ресурси. При цьому вона враховує вимоги до трафіку. Мобільні телефони, планшети та IoT/M2M пристрої передають різний трафік, починаючи від виміряного значення температури навколишнього середовища і аж до потокового відео в режимі реального часу. Враховуючи це, базова станція виділяє вузький або широкий спектр для передавання даних. При цьому разом із корисними даними передаються і службова частина навантаження. Враховуючи, що потокове відео вимагає на порядок більшої кількості ресурсів, ніж передавання простого SMS повідомлення чи виміряного значення температури, відношення сигналізаційний даних до загальної кількості буде різним. Згадане відношення коливатиметься в залежності від ширини каналу від 24% при 1,4 МГц і до 19% при 20 МГц. Виходячи з цього, ефективність використання базовою станцією ресурсів відрізняється при передаванні малої та великої кількості даних.

Ефективність використання доступного спектру залежить від того, що більша частина M2M/IoT пристроїв передаватимуть дані малого об'єму (до 50 кбіт/с), в такому випадку не використовуючи виділений ресурс в повній мірі. Вказана вище проблема, потребує негайного вирішення, адже кількість пристроїв мережі невпинно збільшується [12]. Через те, що в зоні обслуговування базової станції прогнозується висока густина мобільних та M2M пристроїв (рис. 3.2), які створюватимуть значне навантаження на інфраструктуру, операторам мобільного зв'язку необхідно гнучко розподіляти радіоресурси для забезпечення QoS.

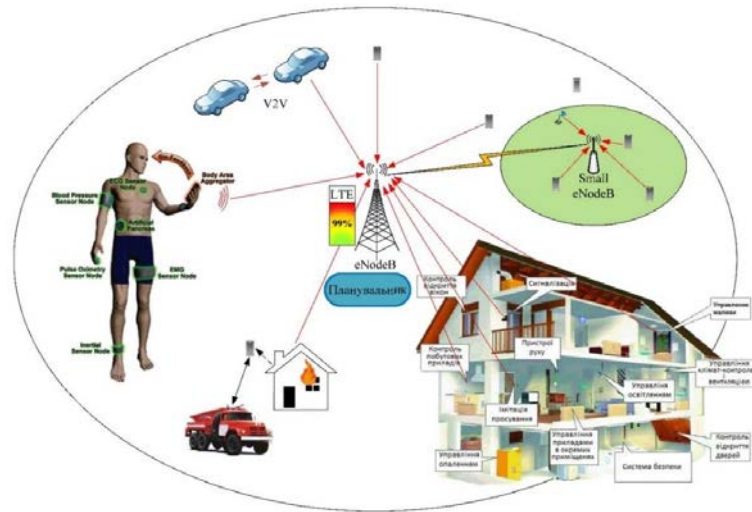


Рисунок 3.2 – Різновид трафіку в зоні покриття LTE.

Різноманітність трафіку який перепадає на мережу LTE необхідно враховувати при розгортанні мережі, при цьому продукування цього трафіку виходить з сценаріїв використання приладів та сенсорів.

3.3 Географічні області 4G LTE, потоки даних і процедури передавання обслуговування для сфери «розумного транспорту» та логістики

У мережі LTE існує три типи географічних областей:

- 1) Області пулу MME - визначається як область, де UE може переміщуватись без зміни обслуговуючого MME;
- 2) Області обслуговування SGW - визначається як область, в якій один або кілька SGW будуть продовжувати надавати обслуговування для UE;
- 3) Області відстеження (TA) - вони визначають підзони, що складаються з невеликих областей MME і SGW, які не перекриваються. використовуються для відстежування місцеположення UE, що знаходиться в режимі очікування.

Кожна мережа в мережі 4G LTE повинна бути однозначно ідентифікована для роботи цих служб. Щоб допомогти у визначенні мереж, 3GPP використовує мережевий ідентифікатор, що складається з:

- мобільного коду країни (MCC) - тризначний ідентифікатор країни, в якій знаходиться мережа (наприклад, для Канади - 302);
- коду мобільної мережі (MNC) - двозначне або тризначне значення, вказує несучу (наприклад, для Rogers Wireless - 720).

Кожній несучій також необхідно однозначно ідентифікувати кожний ММЕ, який вона використовує і підтримує. ММЕ необхідний локально в межах однієї мережі і в усьому світі, коли пристрій пересувається і знаходиться в роумінгу, щоб знайти домашню мережу. Кожен ММЕ має три ідентифікатора:

- ідентифікатор ММЕ - це унікальний ідентифікатор, який буде визначати конкретний ММЕ в мережі. Він складається з наступних двох полів:
 - ММЕ-код (ММЕС) - ідентифікує все ММЕ, що належать до тієї ж області пулу, про яку згадувалося раніше;
 - ідентифікація групи ММЕ (ММЕІ) - визначає групу або кластер ММЕ;
 - глобальний унікальний ідентифікатор ММЕ (GUMМЕІ) - це комбінації PLMN-ID і ММЕІ, описаних раніше, комбінація формує ідентифікатор, який може бути розташований в будь-якій точці світу в будь-якій мережі.

Ідентифікація області відстеження (TAI) дозволяє відстежувати пристрій UE глобально з будь-якої позиції. Це комбінація PLMN-ID та коду зони спостереження за ним (TAC). TAC є конкретною фізичною підобластю зони покриття осередку. Ідентифікатор стільника зконструйований з комбінації ідентифікатора стільникової мережі E-UTRAN (ECI), який ідентифікує осередок в мережі, глобального ідентифікатора стільника E-UTRAN (ECGI), який визначає соту в будь-якій точці світу і фізичного ідентифікатора стільникової мережі (цілочисельне значення від 0 до 503), що використовується для того, щоб відрізнити її від сусідньої EU. Процес передачі обслуговування включає в себе передачу сеансу виклику або даних з одного каналу на інший в мережі.

3.4. Сценарії та можливості застосування eMTC (LTE-M, LTE Cat.M1)

Варіант eMTC є адаптацією IoT для LTE мереж. Фокус як і раніше на досягненні цільових показників масового IoT (вартість, покриття, термін автономної роботи) при забезпеченні максимальної сумісності з наявною у операторів мережевою інфраструктурою. Важлива відмінність технології eMTC - висока пропускна здатність, до 1 Мбіт/с в кожному напрямі (від абонента і до абонента). Важливо зазначити про різноманітність сценаріїв використання IoT та зазначити у яких випадках такі швидкості передачі даних будуть затребувані [16].

Автоматизація логістики та транспортні переміщення (бізнес, громадський транспорт, машини екстрених служб, таксі і тд). В порівнянні з NB-IoT, LTE Cat M1 ідеально підходить для мобільних випадків використання, оскільки вона виконує передачу обслуговування між станціями стільникового аналогічно високошвидкісному LTE. Наприклад, якщо транспортний засіб перемістився з точки А в точку В, перетнувши кілька різних мережевих комірок, пристрій з Cat M1 поводитиметься так само, як мобільний телефон, і ніколи не перестане з'єднуватися. Пристрій NB – IoT, навпаки, повинен був би відновити нове з'єднання в якийсь момент після досягнення нової комірки мережі. Відповідно Cat M1 дозволяє проводити постійний та безперервний моніторинг переміщення транспортного засобу, в режимі реального часу, що є критичним фактором для екстрених служб та багатьох інших сфер. В якості прикладу застосування Еріксон продемонстрував у 2018 році на огляді можливостей LTE в Україні, вантажівку підключену за стандартом CAT-M1, за допомогою якого можна відстежувати зміни температури і вологості, відкриття дверей і можливих аварій - в режимі реального часу, за допомогою недорогих сенсорів, при цьому з гарною автономністю - до 10 років без заміни батареї.

Розумні будинки. Cat M1 може легко забезпечити базову функціональність управління «розумними будівлями» такі як HVAC(Heating, Ventilation, & Air Conditioning), що передбачає відповідно контроль освітлення, опалення, вентиляції та кондиціонування. Оскільки Cat M1 також має функції голосових підключень через VoLTE, він також добре підходить для критично важливих додатків, таких як системи безпеки і сигналізації панелі [16].

Медицина. Датчики пульсу та інші датчики для моніторингу стану людини. Спорт. Cat M1 підходить для використання у сфері медицини та спорту, оскільки забезпечуються достатня швидкість передачі даних, а також VoLTE дозволяє підтримувати голосову функціональність додатків. Наприклад використання медичних програм, таких як амбулаторне спостереження і спостереження за пацієнтом при його переміщення сімейним лікарем у разі необхідності. Взаємодія з датчиками пульсу або розумними гаджетами типу годинників дозволяє одразу передавати дані з датчика у додаток для тренувань або напряду тренеру спортсмена. Існують безліч додатків для такого режиму застосувань, зокрема найпопулярніші: Strava, Endomondo, Runtastic та інші. Найпопулярніші виробники спортивних приладів такого призначення це Garmin та Polar.

Промисловість. Розумний облік. Важливою сферою застосування мереж четвертого покоління у будь-якому місті є промисловість та облік. Категорія Cat M1 гарно підходить для моніторингу вимірювань, роботи та застосування програм за допомогою регулярної передачі та малих обсягів даних. Охоплення мережею є ключовим питанням інтелектуального планування вимірювань. Оскільки лічильники зазвичай розташовані всередині будівель або підвалів, розширений діапазон Cat M1 призводить до кращого покриття у важкодоступних районах. Цей момент актуальний й для промислових виробництв, адже останні дуже часто мають товсті стіни по техніці безпеки. Використання платформи Arduino у взаємодії з Cat M1 дозволяє запроваджувати нові інженерні рішення на заводах та виробництвах

у разі необхідності [16]. Візуалізація застосування категорії Cat M1 в рамках концепції «розумного міста» представлена на рис. 3.3.

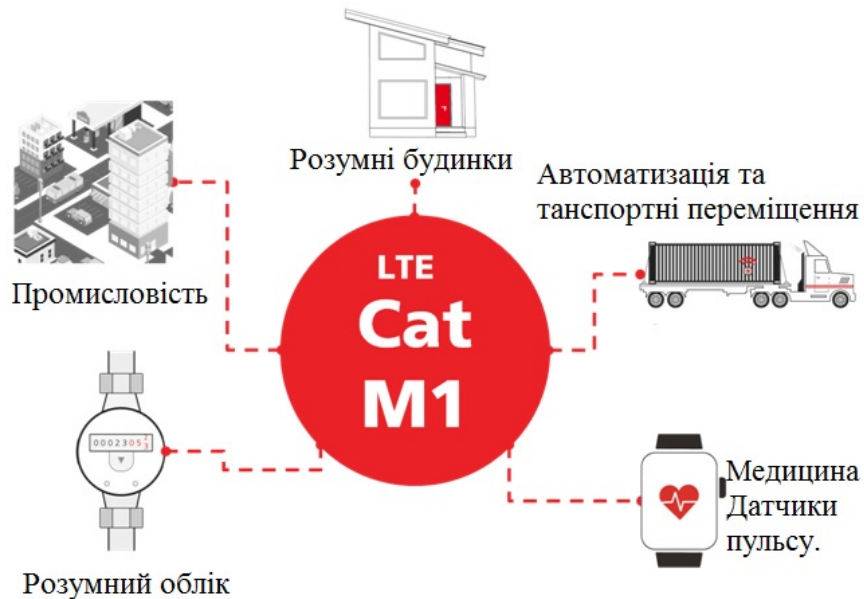


Рисунок 3.3 – Сценарії використання LTE Cat.M1 в рамках IoT, в «розумному місті»

Приклади існуючої реалізації для «розумного міста» за допомогою LTE Cat.M1. Приклади обладнання. В Іспанії, оператор Vodafone надав можливість перевірки лічильника води саме за допомогою LTE Cat.M1, таким чином підтримавши ланку «розумного обліку», це було зроблено в взаємодії з компанією «Aguas de Valencia». Таким чином було забезпечено автоматизацію перевірки лічильників й спрощення життя усім користувачам на сторонах, що надають послуги, а також це дало прозорість та знизило ризики корупції.

Оператор Verizon був першим провайдером телекомунікацій в США, що запропонував LTE Cat M1, і з тих пір приєдналися інші оператори, зокрема AT & T, цими операторами забезпечуються окремі випадки реалізації певних ланок «розумного міста». Австралійські телекомунікаційні компанії також просувають LTE Cat M1 і LTE Cat NB1, задля моніторингу стічних вод та

інших завдань. Випадків використання LTE Cat M1 у IoT дуже багато, узагальнено на прикладі міста це представлено на рис. 3.4.

Сфера застосування Cat M1 в рамках концепції "розумного міста"

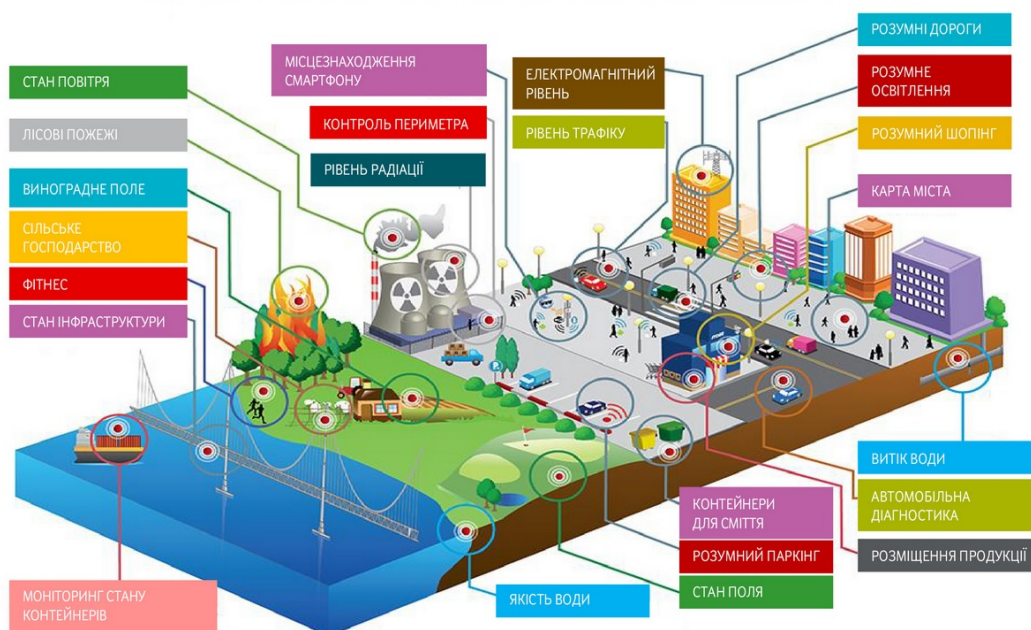


Рисунок 3.4 – Приклади можливих конкретних реалізацій мереж сенсорів за LTE Cat.M1 в рамках IoT

Ці приклади показують, що технології з використанням ліцензованого спектру на відкритих мережах мобільного зв'язку швидко розвиваються. Застосування LTE Cat M1 можливе у багатьох сфера «розумного міста», можна стверджувати, що цю технологію успішно можна використовувати для створення «розумних міст» в Україні та вирішення нагальних питань та задач.

Концепцію «розумного міста» та його ланок в IoT підтримує багато компаній, зокрема всесвітньо відома Qualcomm в цьому році представила LTE-модем нового покоління Qualcomm 9205, спеціально призначений для використання в пристроях інтернету речей, включаючи додатки для обліку й відстеження активів, моніторингу здоров'я і систем безпеки, датчики «розумного» міста і інтелектуальні лічильники, а також переносні пристрої. Новий модем унікальний тим, що об'єднує всі ключові технології, необхідні для створення продуктів і сервісів у сфері інтернету речей, в одному чіпсеті. Серед них - підтримка режимів LTE Category M1 (eMTC) і NB2 (NB-IoT), а

також 2G / E-GPRS, обробка додатків, геолокація, безпека на апаратному рівні, підтримка хмарних сервісів і супутні інструменти для розробників. У порівнянні з попереднім поколінням в новому модемі енергоспоживання в режимі очікування знизилося на 70%, що критично важливо для пристроїв інтернету речей, які живляться від батарейок і повинні працювати в польових умовах не менше, ніж 10 років. Також LTE-модеми Qualcomm 9205 на 50% компактніші і дешевше у виробництві, ніж його попередник, що робить їх ідеальними для застосування в малогабаритних IoT-пристроях з підтримкою LPWAN. Новий модем сумісний з ПО для попереднього покоління рішень Qualcomm LTE IoT, що дозволить виробникам модулів не вкладати кошти повторно в програмне забезпечення при розробці нових продуктів. Основні технології та функції LTE-модему Qualcomm 9205:

- Мультирежимний LTE-модем для мереж інтернету речей з широкими можливостями підключення: підтримка режимів Category M1 і NB2 (3GPP Release 14) для роботи з мережами, що використовують будь-який з цих режимів, а також 2G / E-GPRS для підключення в місцях, де мережі LTE для інтернету речей ще не використовуються.

- Режим Category M1 також підтримує передачу голосу для роботи в панелях безпеки і може застосовуватися в переносних рішеннях, наприклад, для систем обліку / відстеження матеріальних активів.

- Радіочастотний приймач з інтегрованим зовнішнім інтерфейсом: LTE-модем Qualcomm 9205 вперше в сегменті інтернету речей для мобільних мереж використовує повноцінний зовнішній інтерфейс, який значно спрощує розробку і сертифікацію продуктів з використанням нового модему і, отже, прискорює їх комерціалізацію.

- Сучасна система управління живленням: щоб збільшити термін служби батареї пристрою, модем на системному рівні підтримує роботу при наднизькому граничному напруженні і здатний підлаштовувати енергоспоживання під рівень заряду батареї.

- Процесор додатків: Arm Cortex A7 з частотою до 800 МГц і підтримкою операційних систем реального часу ThreadX і AliOS Things. Завдяки вбудованому процесору додатків розробники можуть не використовувати зовнішній мікроконтролер, що підвищує безпеку пристроїв і знижує їх собівартість.

- Геолокація: підтримка супутникових систем навігації (GNSS), включаючи GPS, Beidou, ГЛОНАСС і Galileo. Також LTE-модем Qualcomm 9205 дозволяє використовувати або загальну антену для GNSS / LTE, або окремі антени для кожної з функцій.

- Апаратний захист: безпечне завантаження з апаратного root-of-trust, TEE-середовище Qualcomm, апаратна криптографія, захист даних і забезпечення безпеки відладчика.

- Комплект розробника ПО для інтернету речей з підтримкою LTE: дозволяє розробникам запускати їх програмне забезпечення на вбудованому процесорі додатків, а також отримувати доступ до додаткових можливостей LTE-модему Qualcomm 9205, включаючи геолокацію.

- Комплект SDK підтримує багато хмарних платформ, включаючи Alibaba Cloud Link One, China Mobile OneNET, DTSTON DTCloud, Ericsson IoT Accelerator, Gizwits і Verizon ThingSpace, і дає можливість забезпечити підтримку платформ інших великих компаній з цієї сфери.

Модем Qualcomm 9205 допомагає екосистемі інтернету речей розвиватися і забезпечує міцну базу для розробки перспективних мультирежимну модулів LTE-M1 і NB-IoT, які паралельно з удосконаленням глобальних мереж зможуть забезпечити підтримку і застосування LPWAN по всьому світу. Важливим фактором при цьому є фізичні розміри, які модулів, які мають еволюційне зменшення (рис. 3.5).

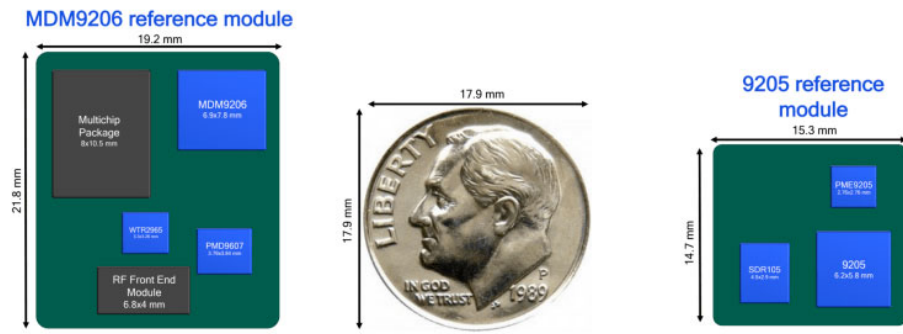


Рисунок 3.5 – Зменшення фізичних розмірів як перевага Qualcomm 9205

LTE-модем Qualcomm 9205 розвиває успіх свого попередника, який на даний момент отримав вже більше 110 комерційних впроваджень. Рішення на базі новинки, включаючи модулі виробництва Gemalto, Quectel і Telit, з'являться на ринку в 2019-2020 році [14].

Висновки до розділу

1. Мережі LTE відрізняються високою масштабованістю за абонентською базою і впроваджуються сьогодні з підтримкою IPv6-адресації. Використання мереж LTE для взаємодії елементів M2M може надати операторам додаткові доходи і надати імпульс подальшого зростання інвестицій.

2. Технології з використанням ліцензованого спектру на відкритих мережах мобільного зв'язку швидко розвиваються. В порівнянні з NB-IoT, LTE CatM1 ідеально підходить для мобільних випадків використання, оскільки вона виконує передавання обслуговування між станціями стільниковго аналогічно високошвидкісному LTE. До сфер застосування LTE CatM1 входять: автоматизація логістики та транспортні переміщення, розумні будинки, медицина, спорт, промисловість, розумний облік. За наведеними сценаріями можна стверджувати, що технологію LTE CatM1 успішно можна використовувати для створення «розумних міст» в Україні та вирішення нагальних питань та завдань розвитку великих міст.

4 РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖІ LTE ДЛЯ «РОЗУМНОГО МІСТА»

Для перевірки можливості реалізації концепту «розумного міста» проведено моделювання мережі за технологією LTE CatM1 на території міста Києва. Взято карту з відкритих джерел, яка охоплює частину міста площею 4 км². Необхідно розрахувати базові параметри мережі та енергетичний бюджет радіолінії (максимально допустимі втрати на лінії $L_{\text{доп}}$) для мережі LTE, обрати обладнання та перевірити відповідність результату щодо поставлених завдань.

4.1 Розрахунок параметрів LTE

4.1.1 Початкові дані для розрахунку

Беремо базові дані, які необхідні для моделювання, тобто частоту розгортання мережі, смугу частот одного радіоканалу й проводимо такі розрахунки.

Загальна кількість каналів :

$$n_k = \text{int}\left(\frac{F}{\Delta f_k}\right),$$

де F – смуга частот, виділена оператору за умовами ліцензії для розгортання системи, МГц;

Δf_k – смуга частот одного радіоканалу, МГц

Визначимо кількість частотних каналів для обслуговування абонентів в одному секторі одного стільника:

$$n_{\text{чкс}} = \text{int}\left(\frac{n_k}{M \cdot C}\right),$$

де M – кількість секторів в стільнику; C – розмір кластера.

4.1.2 Вибір обладнання базової приймально-передавальної станції та антени

Проводимо вибір обладнання з доступних задовільних варіантів. На сьогоднішній день обладнання для даного типу мережі досить багато, адже технологія є актуальною або набирає актуальність, в залежності від країни, в Україні технологія LTE є вже доступною та набирає дедалі більшого розповсюдження, тому питання обладнання не є проблематичним. Після вибору обладнання переходимо до розрахунків, щоб знайти радіус стільника і відповідно кількість абонентів, яку дане обладнання зможе задовільно обслуговувати. Знайдені радіус та висота підвісу враховуються в кінцевому моделюванні в програмі.

4.1.3 Розрахунок основних параметрів мережі

Визначаємо пропускну здатність БС в секторі (з врахуванням каналного кодування і наявності циклічної приставки) R , Мбіт/с:

$$R = \frac{n_{\text{чк_с}} \cdot N_{\text{рб}} \cdot n_{\text{пн}} \cdot N_{\text{сим}}^{\text{рб}} \cdot V_{\text{сс}} \cdot m}{T_{\text{рб}}},$$

де $N_{\text{рб}}$ – кількість ресурсних блоків у виділеній смузі частот радіоканалу (табл. 2.2);

$n_{\text{пн}}$ – кількість носійних частот в ресурсному блоці, $n_{\text{пн}} = 12$;

$N_{\text{сим}}^{\text{рб}}$ – кількість символів OFDM в часовому слоті, що утворює ресурсний блок, $N_{\text{сим}}^{\text{рб}} = 7$;

$V_{\text{сс}}$ – швидкість каналного коду, $V_{\text{сс}} = 1/3$;

m – кількість рівнів модуляції, біт/символ;

$T_{\text{рб}}$ – тривалість часового слоту, що утворює ресурсний блок, $T_{\text{рб}} = 0,5$ мс.

Кількість рівнів модуляції m визначимо з виразу:

$$m = k \cdot \log_2 M',$$

де M' – кількість можливих станів модуляції (максимальна пропускна здатність буде при 64 – QAM, отже $M' = 64$);

k – коефіцієнт, що враховує застосування технології МІМО (для схеми МІМО 2x2 $k = 2$, за відсутності технології МІМО $k=1$).

$$m = 2 \cdot \log_2 64.$$

Визначаємо кількість абонентів в стільнику $N_{аб_с}$:

$$N_{аб_с} = \frac{M \cdot R}{R_{аб}} \cdot k_{os},$$

де $R_{аб}$ – гарантована швидкість для одного абонента, Мбіт/с;

k_{os} – коефіцієнт, який враховує, що для заданого виду трафіку кількість користувачів може бути збільшено через конкурентний доступ до середовища [2].

Далі розрахуємо чутливість приймачів БС і МС:

$$P_{пр} = N + 10 \cdot \lg(\Delta f_k) + NF + SNR,$$

де N – спектральна густина потужності теплового шуму приймача, $N = -174$ дБм/Гц;

Δf_k – смуга частот радіоканалу; на лінії вниз відповідає значенню з початкових даних табл. 2.1, на лінії вгору відповідає смузі для передавання 2 ресурсних блоків у рамках SC-FDMA;

NF – внутрішній шум приймача, $NF = 2,5$ дБ для МС, $NF = 7$ дБ для БС;

SNR – допустиме відношення сигнал-шум, $SNR = 2$ дБ для МС, $SNR = 1$ дБ для БС.

Знайдемо втрати в радіолінії в напрямках від БС L_{DL} і до БС L_{UL} :

$$L_{DL} = P_{пер_БС} + G_{БС} + G_{МС} - P_{пр_МС} - L_{фід}.$$

$$L_{UL} = P_{пер_МС} + G_{АС} + G_{БС} - P_{пр_БС} - L_{фід}.$$

Враховуючи запас на затінення радіотраси, запас на внутрішньосистемні завади і втрати на проникнення в будівлі, максимально допустимі втрати складають $L_{\text{доп}}$:

$$L_{\text{доп}} = L_{UL} - M_{\text{зат}} - M_{\text{вн}} - L_{\text{буд}} + M_h,$$

де $M_{\text{зат}}$ – запас на затінення радіотраси, (6...10) дБ;

$M_{\text{вн}}$ – запас на внутрішньосистемні завади, 2дБ;

$L_{\text{буд}}$ – втрати на проникнення в будівлі, 13 дБ;

M_h – запас на хендовер, 2,5 дБ.

Використовуємо удосконалену модель Окамура-Хата, яка визначає медіанне значення допустимих втрат в умовах міста, та передбачає задіяння частотних меж від 2000 до 3000 МГц, що відповідає умовам поставленої задачі.

$$L_{50|_{\text{місто}}} = 46,3 + 33,9 \lg f + 10 \lg \left(\frac{f}{2000} \right) - 13,82 \lg h_{BS} + \alpha(h_{MS}) + (44,9 - 6,55 \lg h_{BS}) \lg R - K.$$

З даної моделі знайдено радіус стільника для подальшого визначення кількості базових станцій [2].

Визначаємо кількість базових станцій:

$$N_{\text{BC}} = \frac{2S}{R_{\text{ст}}^2 3\sqrt{3}}$$

та кількість сенсорів та приладів, що можна обслуговувати:

$$N_A = N_{\text{BC}} N_{\text{аб}_c}.$$

4.2 Моделювання мережі LTE

4.2.1 Результати розрахунку параметрів мережі

За результатами конкурсу на розгортання LTE мереж в Україні дана технологія розгорнута на частотах 1800 та 2600 МГц, тому останню й взято

для моделювання. Зроблено першочергові розрахунки загальної кількості каналів та в одному секторі одного стільника.

Загальна кількість каналів :

$$n_k = \text{int}\left(\frac{F}{\Delta f_k}\right) = \frac{26}{9} = 2.88 \approx 3.$$

Кількість частотних каналів для обслуговування абонентів в одному секторі одного стільника:

$$n_{\text{чкк}} = \text{int}\left(\frac{n_k}{M \cdot C}\right) = \frac{3}{3 \cdot 1} = 1,$$

де M – кількість секторів в стільнику; C – розмір кластера.

4.2.2 Вибір обладнання базової приймально-передавальної станції та антени

Проведено вибір необхідного обладнання. Фактично для використання технології LTE за категорією Cat M1 підходить будь-яке вже існуюче у використанні обладнання з підтримкою LTE, необхідно встановити на нього лише програмне забезпечення.

У відповідності до розрахованої кількості частотних каналів у стільнику $n_{\text{чкк}} \cdot M$ обрано обладнання BTS (Huawei DBS3900). Обладнання підтримує розраховану кількість приймально-передавальних модулів TRX (тобто частотних каналів), а також працює в потрібному діапазоні частот. Вибір саме цієї станції обумовлений тим, що платформа BTS складається з вузла базової частоти (BBU3900) і віддаленого радіовузла (RRU). Обидва модулі відрізняються гнучкістю установки, простотою розгортання на об'єкті і низьким енергоживленням.

В табл. 4.1 наведено основні параметри обраної BTS для системи LTE (Huawei DBS3900), а на рис. 4.1 - її зовнішній вигляд.

Таблиця 4.1 – Основні параметри базової станції (Huawei DBS3900)

Параметр	Опис
Діапазон частот, МГц	700,800,850,900,1800,1900,1700/2100,2100,2300 і 2600
Смуга частот радіоканалу, МГц	1.4 - 20
Розмір FFT	512
Кількість приймачів	6
Кількість секторів	9
Потужність випромінювання, dBm	40
Розміри, мм	485×300 × 170



Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд BTS Huawei DBS3900

Антену БС (XPol Panel 1710–2690 65° 18dBi 0°–12°Т) обрано виходячи з робочого діапазону частот, в якому працює система LTE, та ширини діаграми спрямованості. Характеристики обраної антени наведені в табл. 4.2, зовнішній вигляд антени та діаграми спрямованості представлені на рис. 4.2-4.4 відповідно.



Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд антени Kathrein XPol Panel 1710–2690
65° 18dBi

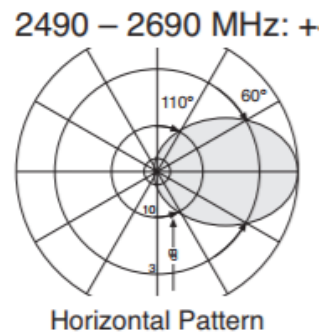


Рисунок 4.3– Діаграма спрямованості антени Kathrein XPol Panel 1710–
2690 65° 18dBi

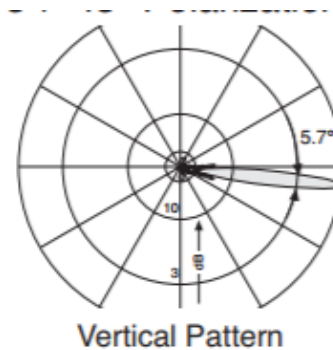


Рисунок 4.4 – Діаграма спрямованості антени в вертикальній площині

Таблиця 4.2 – Характеристики антени (Kathrein XPol Panel 1710–2690 65° 18dBi 0°–12°T)

Типовий номер	800 10621
Частотний діапазон	2490 – 2690 MHz
Поляризація	+45°, - 45°
Підсилення	18 dBi
Ізоляція між портами	> 30 dB
Максимальна потужність на вході	400 Вт (при температурі навколишнього середовища 50°)

4.2.3 Результати розрахунку основних параметрів мережі

Визначено пропускну здатність БС в секторі (з врахуванням каналного кодування і наявності циклічної приставки) R , Мбіт/с:

$$m = 2 \cdot \log_2 64 = 12.$$

$$R = \frac{1 \cdot 50 \cdot 12 \cdot 7 \cdot \frac{1}{3} \cdot 12}{0.5 \cdot 10^{-3}} = 33.6 \text{ Мбіт/с}.$$

Визначено кількість сенсорів в стільнику $N_{\text{аб_с}}$:

$$N_{\text{аб_с}} = \frac{3 \cdot 33.6}{1.5} \cdot 50 = 3360.$$

Розраховано чутливість приймачів БС і МС:

$$P_{\text{пр_БС}} = -174 + 10 \lg(0.36 \cdot 10^6) + 7 + 1 = -110 \text{ дБ}.$$

$$P_{\text{пр_МС}} = -174 + 10 \lg(10 \cdot 10^6) + 2.5 + 2 = -99.5 \text{ дБ}.$$

Знайдено втрати в радіолінії в напрямках від БС L_{DL} і до БС L_{UL} :

$$L_{\text{DL}} = 40 + 18 + 0 + 99.5 - 0.4 = 157.1 \text{ дБ}.$$

$$L_{\text{UL}} = 23 + 0 + 18 + 110 - 0.4 = 150.6 \text{ дБ}.$$

Максимально допустимі втрати складають $L_{\text{доп}}$:

$$L_{\text{доп}} = 150.6 - 6 - 2 - 13 + 2.5 = 132.1 \text{ dB}$$

Використано удосконалену модель Окамура-Хата, яка визначає медіанне значення допустимих втрат в умовах міста, та передбачає задіяння частотних меж від 2000 до 3000 МГц, що відповідає умовам поставленої задачі.

Враховано коефіцієнт K , що означає величину корекції рівня допустимих втрат для території України та деяких інших країн, оскільки модель Окамура-Хата була отримана експериментальним шляхом для щільності і висотності забудови Японії ($K = 6 \dots 10 \text{ дБ}$).

$$L_{50|_{\text{місто}}} = 46.3 + 33.9 \lg f + 10 \lg \left(\frac{f}{2000} \right) - 13.82 \lg h_{\text{BS}} + \alpha(h_{\text{MS}}) + (44.9 - 6.55 \lg h_{\text{BS}}) \lg R - K.$$

Визначено радіус стільника та кількість базових станцій:

$$R_{\text{ст}} = 0.734 \text{ км},$$

$$N_{\text{БС}} = \frac{2 \cdot 4}{0.734 \cdot \sqrt[3]{3}} = 2.12 \approx 3.$$

Кількість сенсорів та приладів, що можна обслуговувати:

$$N_A = 3 \cdot 3360 = 10080.$$

Результати моделювання в програмному середовищі Atoll представлено на рис 4.5-4.6. Моделювання радіопокриття вважають завершеним, якщо відсоток території покриття з рівнем сигналу менше -100 дБм (нижче порогу чутливості МС) не перевищує 10%.

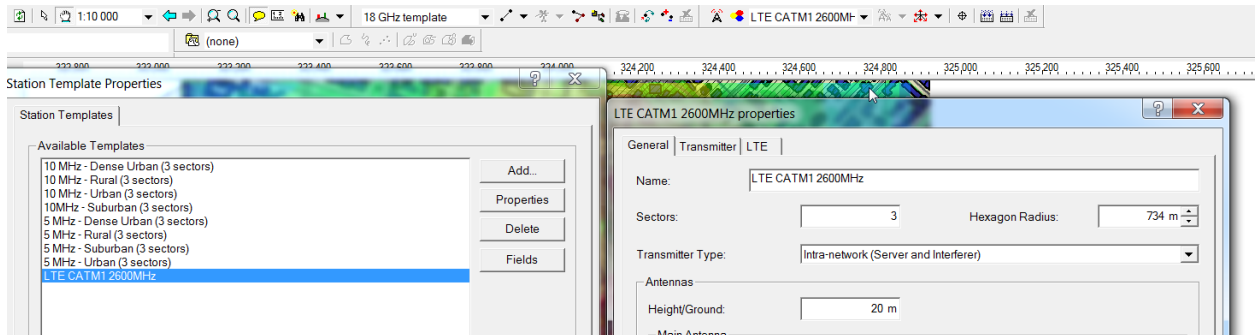


Рисунок 4.6 – Встановлення параметрів БС LTE Cat M1 згідно розрахованих результатів.

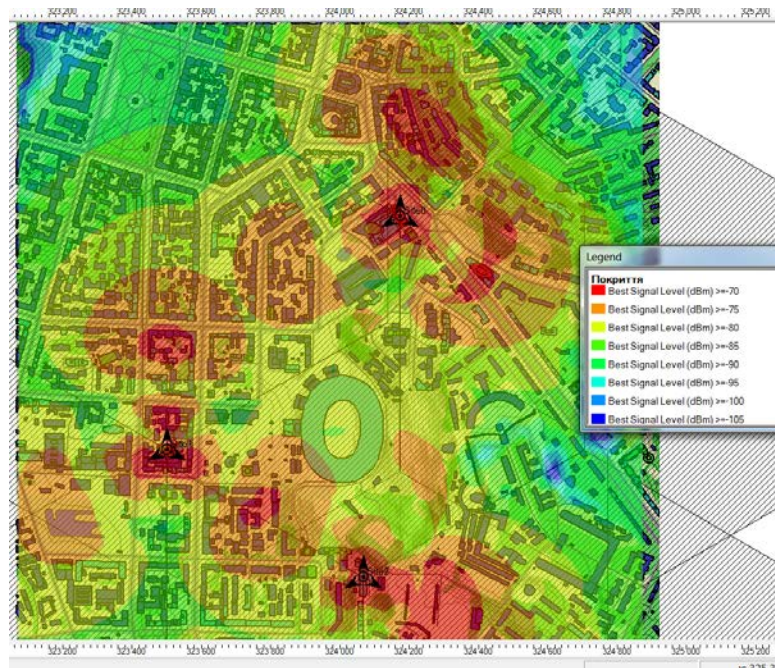


Рисунок 4.6 – Результати моделювання мережі LTE Cat M1 на території міста Києва.

Візуалізація отриманого рівня сигналу на гістограмі представлена на рис. 4.7.

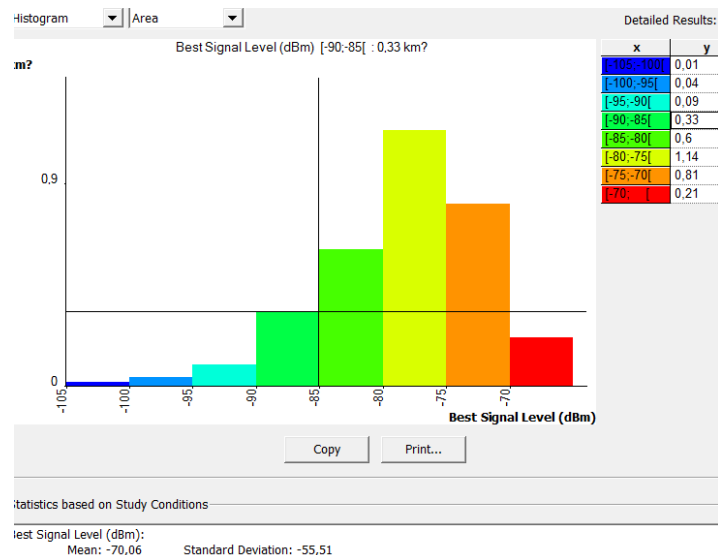


Рисунок 4.7 – Гістограмна візуалізація отриманого рівня сигналу в мережі LTE Cat M1 на території міста Києва

Аналізуючи результати, можна зробити такі висновки: покриття мережі з задовільним рівнем сигналу є досить значним (більше 84%) та охоплює всю фактичну зону розгортання, з чого можна зробити висновок, що більшість користувачів, представлених у вигляді датчиків й пристроїв в даній місцевості, матимуть доступ до мережі з швидкістю, яка відповідає даному типу категорії (близько 1 Мбіт/с). Для розгортання мережі за результатами розрахунків необхідно 3 БС. Результати моделювання можна вважати позитивними, адже даний тип мережі має передбачати досить високу мобільність абонента – у разі використання системи в рамках «розумного транспорту» має бути забезпечений максимальний радіус покриття при належній швидкості, інші сфери «розумного міста» також цілком задовільно забезпечуються даним типом мережі, з чого можна робити висновок про можливість успішного використання LTE Cat M1 в рамках концепції розумного міста.

Висновки до розділу

В даному розділі наведено методику розрахунку основних параметрів мережі LTE CatM1, в діапазоні 2600 МГц запропоновано використовувати

удосконалену модель Окамура-Хата для розрахунку дальності радіозв'язку, яка визначає медіанне значення допустимих втрат в умовах міста та передбачає застосування частотних меж від 2000 до 3000 МГц, що задовольняє поставленим умовам задачі, оскільки заплановано розгортати мережу в діапазоні 2600 МГц.

Проведено розрахунки мережі LTE за стандартом категорії Cat M1, обрано обладнання з представлених на сучасному ринку виробників. В результаті розрахунку встановлено, що для розгортання мережі на території 4 км² необхідно обрати 3 БС з радіусом стільника 734 м, які зможуть обслуговувати 10080 сенсорів. Обладнання задовільняє необхідні технічні вимоги, що були висунуті внаслідок розрахунків мережі. Проведено моделювання в програмному середовищі Atol, за його результатами можна стверджувати наступне: зона покриття мережі LTE на частоті 2600 МГц та 3 БС виявилася (більше 84% території з рівнем сигналу в діапазоні 75-90 дБм).

5 СТАРТАП-ПРОЕКТ

5.1 Основні відомості

Сутність стартап-проекту. Досліджуючи ринок мережевих технологій було виявлено можливість розгортки мереж IoT за допомогою використання нових рішень. Зміст ідеї стартапу та визначення її характеристик наведено в табл. 5.1 та табл. 5.2.

Таблиця 5.1 – Зміст ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Запропонувати дієве і ефективне рішення для створення мереж IoT на базі існуючого обладнання стільникових мереж.	1. «Розумне місто»	Оптимізація міських процесів для мешканців
	2. «Розумний дім»	Оптимізація способу життя
	3. Бізнес	Покращення можливостей моніторингу та автоматизації виробництва, зберігання продукції і тд.

Таблиця 5.2 – Визначення характеристик ідеї стартап-проекту

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтраль на сторона)	S (сильна сторона)
		Запропоно ваний метод	Загально живаний метод			
1.	Продаж професійного програмного забезпечення для IoT	Дає змогу	Дає змогу	Може бути економічно затратним	Цінова політика може не задовільняти кінцевого споживача	Можливість зайняти відносно вільну нішу, продукт цікавий для бізнесу та виробництва
2.	Створення нових мереж IoT, модернізація «розумного будинку»	Дає змогу	Не дає змогу	Потребує детального опрацювання аспектів захисту	Підтримка користувача, оновлення ПО	Можливість комерційної та дотаційної реалізації

5.2 Технологічний аудит ідеї стартап-проекту

У таблиці 5.3 оцінено можливість технологічної реалізації ідеї стартапу та показано технології, які можна застосувати для реалізації проекту.

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Створення нового ПО для надання можливостей	Спеціалізована обладнання для організації потокового мовлення	Присутня	Доступна
2	розгортки сенсорних мереж за	Використання існуючих апаратних систем стільникових мереж	Присутня	Доступна
3	категорією LTE CAT M1	Розробка власних апаратно-програмних рішень	Відсутні на ринку в Україні	Доступна в випадку достатнього бюджету

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: розробка та продаж програмного забезпечення для створення мереж в рамках концепту IoT з використанням існуючих мереж та обладнання.

5.3 Аналіз можливостей ринку для запуску проекту

У таблиці 5.4 показано попередню характеристику потенційного ринку стартап-проекту.

Таблиця 5.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартапу

№ п/п	Показники ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість основних гравців, од	3
2	Обсяг продажів, грн/ум.од	300000
3	Тенденції ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Залучення потенційних клієнтів
5	Специфічні вимоги стандартизування та сертифікування	Ліцензія
6	Середня норма рентабельності в даній галузі, %	$300000/210000 = 143\%$

У таблиці 5.5 показано характеристику потенційних клієнтів стартап-проекту

Таблиця 5.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності поведінки потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Стабільний зв'язок під час проведення онлайн операцій	Бізнес, виробництво	Необхідний рівень якості передавання голосових даних	Результат повинен відповідати найвищим стандартам якості
2	Якісна передача інформації від мереж датчиків	Бізнес, сфери «розумного міста»	Кожна група має власні вимоги до стандартів передачі даних	Забезпечення передавання даних залежності від потреб споживача

У табл. 5.6 наведено основні загрози реалізації стартап-проекту.

Таблиця 5.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Опис загрози	Планове реагування компанії
1	Недостатній інтерес клієнтів	В випадку невдалого маркетингу клієнта можуть не зацікавити запропоновані послуги	Забезпечення додаткових сервісних послуг
2	Втрата конкурентних позицій	Втрата статусу надійного постачальника	Якісний та кількісний приріст інтенсивності та виважена цінова політика

У табл.5.7 наведено основні можливості під час реалізації стартап-проекту.

Таблиця 5.7. Основні можливості

№ п/п	Фактор	Опис можливості	Планове реагування компанії
1	Лідерські позиції на ринку телекомунікаційних послуг	Стрімке зростання попиту	Якісне та кількісне збільшення продукту, якісна підтримка користувача, постійні оновлення безпеки
2	Впровадження запропонованих технологій в уже існуючі системи стільникових мереж	Збільшення об'ємів закупівель	Якісне та кількісне збільшення обсягів продукту

У таблиці 5.8 наведено особливості та вплив конкурентного середовища на впровадження проекту [19].

Таблиця 5.8. Аналіз конкуренції

Особливості конкурентного середовища	Прояв даної характеристика	Вплив на діяльність підприємства (планові дії компанії для забезпечення конкурентоспромож ності)
1.Конкуренція	Застосування вже існуючих технологій	Проведення стандартизації на високому рівні
2.Локальний	Відсутність єдиного постачальника послуг	Індивідуальний підхід до кожного клієнта та його апаратної частини
3.Міжгалузева	Відсутня	Відсутня
4.Товарно-видова	Використання стандартизованих технологій	Застосування загальновживаних

		апаратних засобів, за необхідності
5.Цінова	Використання високовартісних спеціалізованих комплексів	Можливість заощадити шляхом застосування загальновживаних апаратних засобів
6.Марочна	Кожна діагностика повинна бути стандартизованою	Здобуття переваги на ринку телекомунікаційних послуг

У таблиці 5.9 проаналізовано конкуренцію проекту в галузі за ринком Іспанії

Таблиця 5.9. Аналіз конкуренції ринку

Складові аналізу	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари- замінни ки
	Програмні постачальни ки	Потреба пошуку постачальників в	Залучення відомих та перевіраних постачальників	Самостійність у прийнятті клієнтських рішень	Наданн я переваг и авторит етніши м апаратн им рішення м
Висновки:	Низька	Є можливість виходу на ринок	Постачальники встановлюють цінову політику на обладнання	Клієнти встановлюють вимоги до якості	Обмеже ння є тільки в випадку відмови від діагнос тики

У табл. 5.10 наведено та обґрунтовано фактори конкурентноспроможності.

Таблиця 5.10. Обґрунтування факторів конкурентноспроможності

№ п/п	Фактор конкурентноспроможності	Обґрунтування (чинники, що роблять фактор порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Раціональніша цінова політика	Можливість раціональнішого використання ресурсів
2	Забезпечення сервісних послуг	Сервісне обслуговування апаратної та програмної частини

У табл. 5.11 перелічено сильні та слабкі сторони проекту.

Таблиця 5.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентноспроможності	Бали 1-20	Порівняння рейтингу товарів-конкурентів						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Раціональніша цінова політика	15	+						
2	Послуги сервісного обслуговування	12			+				
3	Періодична діагностика	7					+		
4	Потреба в залученні висококваліфікованих кадрів	7						+	

У табл.5.12 представлений SWOT-аналіз стартап-проекту.

Таблиця 5.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: раціональна цінова політика, послуги сервісного обслуговування	Слабкі сторони: періодична діагностика, потреба в залученні висококваліфікованих кадрів
Можливості: Ексклюзивне використання нового методу, впровадження методу в існуючі мережеві логічні комплекси	Загрози: низька зацікавленість клієнтів, втрата монополії

Альтернативи ринкового впровадження стартапу показані в табл.5.13.

Таблиця 5.13. Альтернативи ринкового впровадження проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність залучення ресурсів	Терміни реалізації
1	Складання договорів з телекомунікаційними компаніями та оперативне захоплення ринку при використанні нового рішення	висока	короткі
2	Застосування приладів загального вжитку для підвищення конкурентноспроможності	середня	короткі

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Обґрунтування вибору цільових груп потенційних споживачів показано в табл. 5.14.

Таблиця 5.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Загальний профіль цільової групи потенційних клієнтів	Готовність сприйняття продукту споживачами	Орієнтовний попит цільової групи (сегменту)	Напруженість конкуренції в сегменті	Складність входу у сегмент
1	Оператори стільникового покриття.	Середня	Високий	Низька	Середня
2	Приватні мережі	Середня	Середній	Середня	Низька

Визначення базової стратегії розвитку наведено у табл. 5.15.

Таблиця 5.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Основні конкурентоспроможні позиції згідно з обраною альтернативою	Базова стратегія розвитку*
1	Застосування альтернативних технологій та пристроїв	Впровадження нового стандарту якості	Залучення ключових гравців у галузі мереж IoT	Стратегія диференціації
2	Бюджетність проекту	Оптимізованіші затрати на обладнання, та послуги	Використання загальноновживаних апаратних рішень замість спеціалізованих комплексів та нового обладнання	Стратегія лідерства по витратах

Визначення основної стратегії конкурентної поведінки показано в табл.

5.16.

Таблиця 5.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект унікальним на ринку?	Чи необхідно буде компанії шукати нових споживачів, чи опрацьовувати існуючих у конкурентів?	Чи необхідно компанії копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Так	Опрацьовувати існуючих та шукати нових	Немає необхідності	Стратегія виклику лідера

Визначення стратегії позиціонування показано в табл. 5.17.

Таблиця 5.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги цільової аудиторії до товару	Основна стратегія розвитку	Основні конкурентоспроможні позиції стартап-проекту	Визначення асоціацій, які сформулюють комплексну позицію стартап-проекту (три основних)
1	Належна висока якість послуг	Стратегія диференціації	Новизна, гарант якості, точність дослідження	Якість, підтримка, надійність
2	Невисокі витрати	Стратегія лідерства по витратах	Універсальність запропонованого рішення	Універсальність, економічна доцільність

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Основні переваги концепції потенційного товару показано в табл. 5.18.

Таблиця 5.18. Визначення основних переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Основні переваги перед конкурентами (існуючі або потенційні)
1	Якість	Належна висока якість, надійність	Постійна підтримка користувача, оффлайн підтримка.
2	Невисока вартість	Оптимальне використання коштів, не потрібно купувати нове обладнання	Невисока вартість

Виявлено три рівні моделі товару. Зміст та складові рівнів товару показано в табл. 5.19.

Таблиця 5.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Зміст та складові		
I. Товар за задумом	Якісний товар та послуги, стандартизована якість послуг та обладнання		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1)Вартість обслуговування,	1) М	1)Е
	2)Кількість комплектів програми	2) М	2) Пр
	3)Строк безвідмовної експлуатації	3) М	3)Нд
	4)Технологічна собівартість товару	4) М	4)Тх
	Якість: міжнародні стандарти, постійне обслуговування та підтримка обладнання		
III. Товар із підкріпленням	Доставка, встановлення і налаштування		
	Марка: Мережі IoT		
	До продажу – програмне забезпечення		
	Після продажу – обслуговування та сервісна підтримка		

Визначення цінової політики на послугу показано в табл. 5.20.

Таблиця 5.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Цінова політика товарів-замінників	Цінова політика на товари- аналоги	Рівень купівельної спроможності цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	5000 у.о./од. (стандартна методика)	-	Високий	Н.4000 у.о. – В.4500 у.о. (Товар) Н.100 у.о. – В.500 у.о. (Послуга)

Створення системи збуту послуги вказано у табл. 5.21.

Таблиця 5.21. Створення системи збуту

№ п/п	Закупівельна поведінка цільових клієнтів	Функції збуту, що повинен забезпечувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Орієнтована на максимальний дохід від існуючого обладнання та вкладених коштів	Поставки якісного, точного та надійного товару	Значна	Договірна система збуту

Концепції маркетингових комунікацій показано в табл. 5.22.

Таблиця 5.22. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій цільових клієнтів	Основні методи позиціонування	Завдання рекламного звернення	Концепція рекламного звернення
1	Зацікавленість в точному та якісному продукті з раціональним використанням ресурсів	Мережні ресурси	Гарантія якості та стандартизація, сервісна політика	Привернути увагу до покращень, пов'язаних із зростаючою популярністю послуг	Позиціонування центру синхронізації відправною точкою на шляху до над якісного контенту
2	Зацікавленість у великих об'ємах продукції із дотриманням умов якості	Мережні ресурси	Глибина каналу постачальників, гарантія якості	Привернути увагу до переваг первісності та в глибині каналу постачання	Позиціонування послуг центру синхронізації єдиним раціональним шляхом забезпечення стабільного трафіку

Висновки до розділу

1. Встановлено, що комерціалізацію стартап-проекту щодо застосування та розвитку запропонованого програмного рішення для розгортки мереж IoT на основі існуючих стільникових мереж можна вважати доцільною. На ринку телекомунікаційних послуг у світі існує суттєвий попит на дану пропозицію, який зараз задовільняють товари замітники та більш дорогі рішення, в Україні прямих конкурентів немає, оскільки технології для впровадження та продажу цього продукту лише вийшли на ринок, а саме технологія LTE. Рентабельність на ринку послуг забезпечить в першу чергу можливість впровадження нових мереж на основі існуючої апаратної частини, й як наслідок економічну доцільність та універсальність.

2. Можливість виходу на ринок є дуже високою, адже існуючим операторам вигідно отримувати максимум доходу від вже придбаного обладнання, водночас з тим сфера IoT є дуже перспективною та високодохідною в майбутньому. Конкуренті спроможності проекту реалізовано внаслідок можливості зайняти порожню нішу в Україні та надати гарний рівень підтримки продукту. Це є перевагою і основним критерієм входження на ринок запропонованого рішення.

3. Обрана альтернатива впровадження – пошук альтернативних технологій та пристроїв для побудови систем IoT. Позитивні умови для просування проекту зумовлені вимогами ринку, а саме прагнення багатьох великих міст до втілення концепту «розумного міста».

ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації досліджена можливість реалізації сенсорних мереж IoT за допомогою розгорнутої нещодавно в Україні мережі LTE, а саме з використанням категорії LTE Cat M1.

1. Проаналізовано концепцію «розумного міста» та особливості реалізації її складових ланок, наведено приклади та шляхи реалізації даної концепції у світовій практиці з використанням різних операторів, зокрема Verizon, Vodafone, AT&T.

2. Досліджено існуючі моделі розумних міст, зокрема м. Барселона, м. Амстердам, м. Інчуань, м. Фудзісава, м. Мілтон-Кінс та інші. Наведені приклади реалізації деяких ланок «розумного міста» в Україні, зокрема в м. Києві та м. Львів, зазначено тенденції до створення складових IoT в цих містах, що підтверджує необхідність задіяння технології по створенню сенсорних мереж.

3. Досліджено послуги та сфери, що охоплює концепція «розумного міста», встановлено, що дана концепція має багато складових, з яких до найбільш важливих можна віднести такі: «розумна економіка», «розумна мобільність», «розумне життя», «розумне врядування».

4. Проаналізовано існуючі безпроводові технології для передавання великих обсягів інформації в рамках «розумного міста», Досліджено безпроводові технології передачі інформації LPWAN: Lora, SigFox, NB – IoT. та LTE. До переваг технологій Lora і SigFox відносяться енергоефективність та дальність дії БС: технологія Lora у приміській зоні до 20 км, в умовах міста 1-3 км, SigFox близько 30 км, в умовах міста 3-5 км, термін живлення пристроїв в середньому 6-7 років. Основними недоліками зазначених технологій є низька швидкість передачі даних: LoRa знаходиться в діапазоні від 0.3 до 50 Кбіт / с, SigFox близько 0.1 Кбіт / с, NB – IoT до 200 Кбіт / с, що не може забезпечити задовільну роботу багатьох ланок «розумного міста», зокрема транспортну, медичну, адміністративну, оскільки вони вимагають більшої швидкості передачі даних, через тип та обсяги трафіку в умовах міста.

Технологія LTE CatM1 має швидкість передачі даних 1 Мб / с, та мінімальні затримки при передаванні, що дозволяє задовільно реалізувати підтримку фактично всіх ланок «розумного міста», радіус дії однієї БС на частоті 2600 МГц становить 700-800 м в умовах міста, що є цілком задовільним результатом. Частота 2600 МГц обрана для моделювання як така, що є ліцензійованою для розгортки LTE в Україні за умовами тендеру.

5. Встановлено, що реалізація концепту «розумного міста» має передбачати масовість обладнання, кількості розгорнутих мереж та їх покриття, в Україні найбільше покриття в межах міст мають оператори стільникового зв'язку, останнім розгорнутим поколінням якого є LTE. Ключовою перевагою технології LTE CatM1 для розгортання сенсорних мереж IoT є відсутність необхідності придбання нового обладнання для операторів, оскільки категорія CatM1 передбачає встановлення на вже існуюче обладнання відповідного програмного забезпечення, таким чином даний аспект створює економічну доцільність для операторів по створенню мереж IoT.

6. Розраховано основні параметри мережі (кількість базових станцій та радіус стільника) та змодельовано в програмному середовищі Atoll радіопокриття мережі LTE з урахуванням концепції «розумного міста», перевірено відповідність технології LTE за категорією CatM1 для забезпечення роботи транспортної складової «розумного міста», обрано обладнання з представлених на сучасному ринку виробників. В результаті розрахунку встановлено, що для розгортання мережі на території 4 км² необхідно обрати 3 БС з радіусом стільника 734 м., які зможуть обслуговувати 10080 сенсорів. В якості території розгортання мережі було взято карту Печерського району міста Київ. Обладнання задовольняє необхідним технічним вимогам, що були висунуті за результатами розрахунків мережі. Можна стверджувати: зону покриття мережі LTE на частоті 2600 МГц забезпечують 3 БС (більше 84% території з рівнем сигналу в діапазоні 75-90 дБм). За отриманими результатами можна стверджувати, що технологія LTE

Cat M1 задовольняє сукупності вимог щодо розгортання IoT в Україні для створення та розвитку «розумних міст».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. 4G. – Режим доступу: <http://forbes.net.ua/opinions/1390343-skolko-ukraincam-eshche-zhdat-vnedreniya-4g>
2. Проектування безпроводових стільникових мереж зв'язку [Електронний ресурс] : навчальний посібник для виконання курсової роботи з дисципліни «Телекомунікаційні безпроводові системи» для студентів усіх форм навчання за напрямом підготовки 6.050903 «Телекомунікації» / НТУУ «КПІ» ; уклад.: В. В. Пілінський, П. В. Попович, С. М. Веретюк. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,52 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 69 с. – Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/21177>
3. Навчальний практикум з кредитного модуля «Безпроводові телекомунікаційні системи – 2. Системи та засоби зв'язку з рухомими об'єктами» [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до проведення практичних занять та виконання лабораторних робіт для студентів усіх форм навчання за напрямом підготовки 6.050903 «Телекомунікації» / НТУУ «КПІ»; уклад.: В. Г. Абакумов, П. В. Попович, К. О. Трапезон. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,86 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – 146 с. – Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/21180>
4. Росляков А. В. ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ : Учебное пособие / А. В. Росляков, С. В. Ваняшин, А. Ю. Гребешков. – Самара : ПГУТИ, 2015 - 136 с.
5. LTE Cat-M1 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.4gltemall.com/ue-category/lte-cat-m1.html?limit=24>
6. LIFECCELL И ERICSSON ПРОДЕМОНСТРИРОВАЛИ ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛЬНОЙ 4G-СЕТИ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.dsnews.ua/future/lifecell-i-ericsson-prodemonstrirovali-vozmozhnosti-realnoy-4g-seti-02112017163900>
7. LTE Cat-M1 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.u-blox.com/en/lte-cat-m1-old>

8. LTE — це не стільки швидкість, скільки нові можливості [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.imena.ua/blog/lte-lifecell-report/>
9. 4G ВІД VODAFON [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://4g.vodafone.ua/uk>
10. Карта покриття lifecell [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://4g.lifecell.ua/ru/#map>
11. Карта покриття Киевстар [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://kyivstar.ua/ru/4g#map-section>
12. Метод управління інформаційними потоками та розподілу ресурсів гетерогенної мережі 4G/5G для надання сервісів M2M/ІоТ шифр «199509 PSIT» 2018 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://onat.edu.ua/wp-content/uploads/2018/03/Пушак.pdf>
13. ЛЕКЦІЯ № 1 з навчальної дисципліни «Архітектура і технології ІоТ» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://learn.ztu.edu.ua/mod/folder/view.php?id=26748>
14. Проектування Інтернет речей (ІоТ) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.slideshare.net/ssuserf405bc/iot-79608563>
15. Стандарт NB-IoT Low-Power and Wide-Area, LPWA [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Стандарт_NB-IoT_Low-Power_and_WideArea,_LPWAN_\(Энергоэффективная_сеть_дальнего_радиуса_действия\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Стандарт_NB-IoT_Low-Power_and_WideArea,_LPWAN_(Энергоэффективная_сеть_дальнего_радиуса_действия))
16. LTE IoT is starting to connect the massive IoT today, thanks to eMTC and NB-IoT [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.rcrwireless.com/lte-iot-is-starting-to-connect-the-massive-iot-today-thanks-to-emtc-and-nb-iot>
17. Мобильная связь на пути к 6G. В 2 Т. Том 2 А. Н. Степутин, А.Д. Николаев – Москва-Вологда: Инфа-Инженерия, 2017 –416 с

18. Архитектура интернета вещей Ли П . / пер. с англ. М. А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 454 с
19. LTE [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/LTE>
20. Досвід реалізації проектів класу «розумне місто» на основі інформаційних і телекомунікаційних технологій] Н. Кунанець, В. Пасічник [Електронний ресурс] – Режим доступу: – http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vldubzh_2016_14_4
21. Вузька смуга для «розумного» міста Вадим Чорний, M.Sc., MBA, НВФ VD MAIS

Додаток А

РЕФЕРАТ
АНГЛІЙСЬКОЮ МОВОЮ ЗА ТЕМОЮ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

ABSTRACT

The Internet of Things (IoT) describes the network of physical objects (“things”), which are embedded with sensors, software, and other technologies for the purpose of connecting and exchanging data with other devices and systems via the Internet. These devices range from ordinary household objects to sophisticated industrial tools. There are more than 7 billion IoT devices connected today, and experts are expecting of this number growing up to 10 billion by 2020 and 22 billion by 2025. Recently, industries have used machine-to-machine communication (M2M) to achieve wireless automation and control. But with the the invention of cloud storage and allied technologies (such as analytics and machine learning), industries can achieve a new automation layer and create new revenue and business models with it. IoT is called the fourth wave of the industrial revolution, or Industry 4.0. There are some common uses for IoT as follows: smart manufacture, preventive and predictive maintenance, smart power grids, smart cities, smart logistics and smart transfers, smart digital supply chains.

LTE (Long–Term Evolution, commonly marketed as 4G LTE) is a standard for wireless communication of high–speed data for mobile phones and data terminals.

It is based on the GSM/EDGE and UMTS/HSPA network technologies, increasing the capacity and speed using a different radio interface together with core network improvements. The standard is developed by the 3GPP (3rd Generation Partnership Project) and is specified in its Release 8 document series, with minor enhancements described in Release 9.

LTE is the natural upgrade path for carriers with both GSM/UMTS networks and CDMA2000 networks. The different LTE frequencies and bands used in different countries will mean that only multi–band phones will be able to use LTE in all countries where it is supported.

Although marketed as a 4G wireless service, LTE (as specified in the 3GPP Release 8 and 9 document series) does not satisfy the technical requirements the 3GPP consortium has adopted for its new LTE Advanced standard.

The requirements were originally set forth by the ITU–R organization in its IMT Advanced specification. However, due to marketing pressures and the significant advancements that WiMAX, Evolved High Speed Packet Access and LTE bring to the original 3G technologies, ITU later decided that LTE together with the aforementioned technologies can be called 4G technologies.

The LTE Advanced standard formally satisfies the ITU–R requirements to be considered IMT–Advanced. To differentiate LTE Advanced and WiMAX–Advanced from current 4G technologies, ITU has defined them as "True 4G".

LTE stands for Long Term Evolution and is a registered trademark owned by ETSI (European Telecommunications Standards Institute) for the wireless data communications technology and a development of the GSM/UMTS standards. However other nations and companies do play an active role in the LTE project.

The goal of LTE was to increase the capacity and speed of wireless data networks using new DSP (digital signal processing) techniques and modulations that were developed around the turn of the millennium. A further goal was the redesign and simplification of the network architecture to an IP–based system with significantly reduced transfer latency compared to the 3G architecture. The LTE wireless interface is incompatible with 2G and 3G networks, so that it must be operated on a separate radio spectrum.

LTE was first proposed by NTT DoCoMo of Japan in 2004, and studies on the new standard officially commenced in 2005.

In May 2007, the LTE/SAE Trial Initiative (LSTI) alliance was founded as a global collaboration between vendors and operators with the goal of verifying and promoting the new standard in order to ensure the global introduction of the technology as quickly as possible. The LTE standard was finalized in December 2008, and the first publicly available LTE service was launched by TeliaSonera in Oslo and Stockholm on December 14, 2009 as a data connection with a USB modem.

The LTE services were launched by major North American carriers as well, with the Samsung SCH-r900 being the world's first LTE Mobile phone starting on September 21, 2010 and Samsung Galaxy Indulge being the world's first LTE smartphone starting on February 10, 2011 both offered by MetroPCS and HTC ThunderBolt offered by Verizon starting on March 17 being the second LTE smartphone to be sold commercially

In Canada, Rogers Wireless was the first to launch LTE network on July 7, 2011 offering the Sierra Wireless AirCard® 313U USB mobile broadband modem, known as the "LTE Rocket™ stick" then followed closely by mobile devices from both HTC and Samsung.

Initially, CDMA operators planned to upgrade to rival standards called UMB and WiMAX, but all the major CDMA operators (such as Verizon, Sprint and MetroPCS in the United States, Bell and Telus in Canada, au by KDDI in Japan, SK Telecom in South Korea and China Telecom/China Unicom in China) have announced that they intend to migrate to LTE after all.

The evolution of LTE is LTE Advanced, which was standardized in March 2011. Services are expected to commence in 2013.

The LTE specification provides downlink peak rates of 300 Mbit/s, uplink peak rates of 75 Mbit/s and QoS provisions permitting a transfer latency of less than 5 ms in the radio access network.

LTE has the ability to manage fast-moving mobiles and supports multi-cast and broadcast streams.

LTE supports scalable carrier bandwidths, from 1.4 MHz to 20 MHz and supports both frequency division duplexing (FDD) and time-division duplexing (TDD). The IP-based network architecture, called the Evolved Packet Core (EPC) designed to replace the GPRS Core Network, supports seamless handovers for both voice and data to cell towers with older network technology such as GSM, UMTS and CDMA2000. The simpler architecture results in lower operating costs, for example, each E-UTRA cell will support up to four times the data and voice capacity supported by HSPA.

Long-Term Evolution Time-Division Duplex (LTE-TDD), also referred to as Time-division Long-Term Evolution (TD-LTE), is a 4G telecommunications technology and standard co-developed by an international coalition of companies, including China Mobile, Datang Telecom, Huawei, ZTE, Nokia Solutions and Networks, Qualcomm, Samsung, and ST-Ericsson. It is one of two variants of the Long Term Evolution (LTE) technology standard, the other being Frequency-Division Long-Term Evolution (LTE-FDD).

LTE has the ability to manage fast-moving mobiles and supports multi-cast and broadcast streams. LTE supports scalable carrier bandwidths, from 1.4 MHz to 20 MHz and supports both frequency division duplexing (FDD) and time-division duplexing (TDD). LTE Category M1 protocol was introduced by the 3GPP in the Release 13. It adopted the previous set of IoT features defined for LTE Cat 0 in the Release 12 and reduced its complexity while improving the coverage and power efficiency. LTE Cat M1 complexity has been reduced by 80%, compared to that of LTE Cat 0.

Regarding coverage, the LTE Cat M1 protocol offers a new optional power amplifier of 20 dBm as specified as a power class, taking the overall coverage enhancement to over 15 dB, enabling LTE Cat M1 to reach locations previously unreachable for lower powered devices. Power efficiency remains source of discomfort for IoT devices. The today's target is to aim an over 10 years lifecycle battery for IoT devices. This is more than sufficient for most IoT applications, given the current pace of technology evolution.

In addition, regarding the coverage and power consumption targets, the new Cat M1 based on IoT devices are compatible with the existing LTE installed based on appropriate software updates. The backwards compatibility helps to keep deployment costs at a reasonable level. Power saving mode, extended idle mode, connected mode, discontinuous reception, additional small data transmission and low latency are the most important optimization features that make LTE Cat M1 a key IoT communication protocol. Maximum data rates for Cat M1 have remained the same as for LTE Cat 0, 1 Mbps for both, uplink and downlink directions (in

practice, variable data rates between 10 kbps to 1 Mbps are possible, depending on the context requirements).

LTE Cat M1 is a great solution for cellular IoT devices. It has removed many of the previous limitations, following the evolution path familiar with 3GPP standardization works.